



UNIVERSITATEA TEHNICĂ
“GHEORGHE ASACHI” DIN IAȘI

Facultatea de
Inginerie Electrică, Energetică și
Informatică Aplicată



TEHNICI AVANSATE DE MANAGEMENT AL REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE ÎN CONTEXTUL CREȘTERII MOBILITĂȚII ELECTRICE

– REZUMATUL TEZEI DE DOCTORAT –

Conducător de doctorat:

Prof. univ. dr. ing. Mihai Gavrilaș

Doctorand:

Ing. Alexandru Kriukov

IAȘI – 2024

UNIVERSITATEA TEHNICĂ "GHEORGHE ASACHI" DIN IAȘI

RECTORATUL

Către

Vă facem cunoscut că, în ziua de **06.09.2024** la ora **10:00**, în sala „Dragomir Hurmuzescu” a Facultății de Inginerie Electrică, Energetică și Informatică Aplicată, va avea loc susținerea publică a tezei de doctorat intitulată:

**“TEHNICI AVANSATE DE MANAGEMENT AL REȚELELOR ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE ÎN
CONTEXTUL CREȘTERII MOBILITĂȚII ELECTRICE”**

elaborată de domnul **ALEXANDRU KRIUKOV** în vederea conferirii titlului științific de doctor.

Comisia de doctorat este alcătuită din:

- | | |
|---|------------------------|
| 1. Prof. univ. dr. ing. Dorin-Dumitru Lucache | președinte |
| 2. Prof. univ. dr. ing. Mihai Gavrilăș | conducător de doctorat |
| 3. Prof. univ. dr. ing. Constantin Bulac | referent oficial |
| 4. Prof. univ. dr. ing. Ștefan Gheorghe | referent oficial |
| 5. Prof. univ. dr. ing. Gheorghe Grigoraș | referent oficial |

Cu această ocazie vă invităm să participați la susținerea publică a tezei de doctorat.



RECTOR,

Prof. univ. dr. ing. **DAN CAȘCAVAL**

Secretar universitate,

Ing. Cristina Nagiț

Mulțumiri.

Exprim mulțumiri sincere domnului profesor univ. dr. ing. Mihai Gavrilăș, conducătorul științific al acestei teze, pentru profesionalismul deosebit, îndrumarea continuă, efortul depus și sprijinul acordat pe toată durata studiilor doctorale și a redactării prezentei lucrări.

Exprim recunoștință profundă tuturor membrilor comisiei de doctorat și membrilor comisiei de îndrumare pentru răbdarea și atenția acordată analizei acestei lucrări, precum și pentru sugestiile valoroase oferite.

Doresc să îmi exprim recunoștința față de dr. ing. Ovidiu Ivanov, dr. ing. Bogdan Neagu care în nenumărate rânduri m-au ajutat în depășirea diferitelor obstacole întâmpinate de-a lungul elaborării prezentei lucrări.

Nu în ultimul rând, aș dori să mulțumesc, colectivului din cadrul departamentului de Supraveghere Piețe Reglementate al OPCOM S.A. și colectivului de dezvoltare soluții software embedded din cadrul Renault Technologie Roumanie pentru oportunitatea de a-mi construi și aprofunda cunoștințele care au stat la baza elaborării prezentei teze de doctorat.

În final, doresc să exprim profunda mea recunoștință familiei mele. În mod special, îi mulțumesc soției mele, Alexandra Kriukov, și mamei mele, Melania Kriukov, pentru suportul necondiționat, încurajările constante și răbdarea deosebită de care au dat dovadă pe parcursul întregii perioade de studii doctorale.

Alexandru Kriukov

2024

Cuprins

INTRODUCERE.....	1
CAPITOL 1 STADIU ACTUAL ȘI TENDINȚE ÎN ELECTROENERGETICĂ ȘI INDUSTRIA TRANSPORTURILOR.....	2
1.1 TENDINȚE DE DEZVOLTARE DIN DOMENIUL ENERGETIC	2
1.2 TRANSPORTURI ȘI MOBILITATE ASPECTE TEHNICE, ECONOMICE ȘI TENDINȚE	2
1.2.1 Generalități	2
1.2.2 Tendințe	2
CAPITOL 2 IMPACTUL VE ASUPRA SECTORULUI ENERGETIC	3
2.1 INTERACȚIUNEA MOBILITATE ELECTRICĂ – NECESAR DE ENERGIE ELECTRICĂ	3
2.2 MODALITĂȚI DE ÎNCĂRCARE A VE	3
2.3 V2G	4
2.4 ÎNCĂRCAREA VE, SUMAR ȘI SITUAȚIA ACTUALĂ DIN PUNCT DE VEDERE TEHNIC ȘI SOCIOECONOMIC	4
2.5 IMPACTUL VE ASUPRA REȚELELOR DE DISTRIBUȚIE	5
2.6 IMPACTUL VE ASUPRA ASPECTELOR ECONOMICE DIN SEE	6
CAPITOL 3 STUDIU DE CAZ: DETERMINAREA CURBEI DE SARCINĂ ȘI ESTIMAREA FAZEI PE CARE SUNT CONECTAȚI CONSUMATORII CASNICI.	7
3.1.1 Reconstituirea profilurilor normalizate de consum	7
3.1.2 Denormalizarea profilurilor de consum.....	8
3.1.3 Determinarea fazei de conexiune a consumatorilor.....	8
3.1.4 Descrierea rețelei electrice	10
3.1.5 Rezultate	10
3.1.6 Concluzii	10
CAPITOL 4 MODELAREA VE	12
4.1 ARHITECTURA VEHICULELOR ELECTRICE	12
4.2 MODELUL MATEMATIC DE PUTERE AL VE ÎN TIMPUL ÎNCĂRCĂRII ȘI ÎN REGIM V2G DIN RDJT.	12
4.2.1 Modelul matematic al unui VE ideal	14
4.2.2 Modelul matematic simplificat al unui VE ideal	14
4.2.3 Modelul matematic exact al unui VE real.....	14
4.2.4 Modelul matematic simplificat al unui VE real.....	18
4.3 STUDIU DE CAZ: MANAGEMENTUL UNEI PARCĂRI DE VE ÎN CONTEXTUL ORGANIZĂRII UNEI MICRO-PIEȚE DE ENERGIE ELECTRICĂ.....	19
4.3.1 Definirea problemei.....	19
4.3.2 Rezultate:	19
4.3.3 Concluzii	20
4.4 STUDIU DE CAZ: ANALIZA EFICIENȚEI ÎNCĂRCĂRII ȘI REGIMULUI V2G PENTRU VE, PHEV ȘI FCEV	20
4.4.1 Eficiența Round-trip.....	21
4.4.2 Concluzii	22
4.5 STUDIU DE CAZ: ANALIZA VIABILITĂȚII COMERCIALE A REGIMULUI V2G PENTRU VE, PHEV ȘI FCEV.....	22
4.5.1 Metodologie de calcul	22
4.5.2 Costul cu energia.....	23
4.5.3 Costurile cu combustibilii.....	23
4.5.4 Costul BAC	23

4.5.5	Costul EBC	24
4.5.6	Analiză numerică.....	24
4.5.7	Concluzii	25
CAPITOL 5	LIMITAREA IMPACTULUI PRODUS DE ÎNCĂRCAREA VE	26
5.1	OPTIMIZAREA INFRASTRUCTURII DE ÎNCĂRCARE.....	26
5.2	LIMITAREA IMPACTULUI ÎNCĂRCĂRII VE ÎN RD.....	26
5.3	STUDIU DE CAZ: MANAGEMENTUL ÎNCĂRCĂRII VE ÎN RDJT.....	27
5.3.1	Definirea problemei.....	27
5.3.2	Descrierea RD.....	27
5.3.3	Rezultate.....	29
5.3.4	Concluzii.....	31
CAPITOL 6	CONTROLUL ÎNCĂRCĂRII VE	32
6.1	FORMULAREA PROBLEMEI.....	32
6.2	NOUL SISTEM DE CONTROL AL ÎNCĂRCĂRII	32
6.2.1	Funcția de măsură.....	32
6.2.2	Sistemul de decizie.....	33
6.2.3	Sistemul de acționare.....	33
6.2.4	Funcția de comunicație	33
6.3	ALGORITMUL DE MANAGEMENT AL ÎNCĂRCĂRII - VARIANTA V1.....	33
6.3.1	Model matematic al algoritmului de management al încărcării, AMI V1	33
6.3.2	Studiu de caz privind performanța modelului AMI V1 în RDJT	35
6.3.3	Concluzii	37
6.4	ALGORITMUL DE MANAGEMENT A ÎNCĂRCĂRII - VARIANTA V2	37
6.4.1	Model matematic al algoritmului de management al încărcării AMI V2	37
6.4.2	Studiu de caz privind performanța modelului AMI V2 la variația tensiunii	40
6.4.2.1	Scenarii.....	40
6.4.2.2	Descrierea rezultatelor.....	40
6.4.2.3	Procesul de încărcare a VE.....	41
6.4.2.4	Tensiuni în rețea	43
6.4.3	Studiu de caz privind performanța modelului AMI V2 în situația unei mobilități crescute.....	45
6.4.3.1	Scenariul studiat	45
6.4.3.2	Rezultate mașini prezente	45
6.4.3.3	Rezultate putere consumată din RDJT.....	46
6.4.4	Studiu de caz privind performanța AMI V2 la variația producției din surse DG	47
6.4.4.1	Scenariu.....	47
6.4.4.2	Rezultate	47
6.4.5	Concluzii	49
CAPITOL 7	CONCLUZII FINALE ȘI PERSPECTIVE	51
7.1	CONCLUZII GENERALE	51
7.2	CONTRIBUȚII PERSONALE	52
7.3	PERSPECTIVE ȘI DIRECȚII DE CERCETARE	53
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ.....		55

LISTĂ DE FIGURI

Figura 2.1 Încărcarea TIP 1	3
Figura 2.2 Încărcarea TIP 2	3
Figura 2.3 Încărcarea TIP 4	4
Figura 3.1 Structura cromozomilor.....	8
Figura 3.2 Puterea electrică consumată de la bornele transformatorului MT/JT.....	11
Figura 3.3 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.3$	11
Figura 3.4 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.5$	11
Figura 3.5 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.7$	11
Figura 3.6 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.9$	11
Figura 4.1 Arhitectura sistemului de încărcare a unui VE.....	12
Figura 4.2 Schema de funcționare a unui VE în timpul încărcării și în regim V2G.....	13
Figura 4.3 Schema echivalentă a modelului matematic simplificat VE conectat la RDJT.....	13
Figura 4.4 Circulația de puteri în timpul încărcării VE	15
Figura 4.5 Schema echivalentă a modelului matematic simplificat al unui VE real	18
Figura 4.6 Evoluția PIP pe micro-piață	20
Figura 4.7 Număr VE funcționând în regim V2G	20
Figura 5.1 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L1 în scenariile S1, S2 și S3	30
Figura 5.2 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L2 în scenariile S1, S2 și S3	30
.....	30
Figura 5.3 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L3 în scenariile S1, S2 și S3	30
Figura 5.4 Evoluția pierderilor de putere la nivelul rețelei test în scenariile S1, S2, și S3	31
Figura 6.1 Pseudocodul AMI.....	34
Figura 6.2 Niveluri de tensiune în nodul 725	35
Figura 6.3 Niveluri de tensiune în nodul 740	35
Figura 6.4 Puterea consumată din nodul de echilibru pe fazele L1, L2 și L3.....	36
Figura 6.5 Puterea totală consumată din nodul de echilibru.....	36
Figura 6.6 Număr de VE conectare la RDJT și a celor care se încarcă efectiv în cazul modelului AMI	
V1.....	37
Figura 6.7 Psuedocodul AMI V2.....	39
Figura 6.8 Număr VE prezente și număr VE care efectiv se încarcă concomitent în scenariile S1, S2	
și S3.....	42
Figura 6.9 SOC_{DES} , noul SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1.....	43
Figura 6.10 SOC_{DES} , noul SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1'	43
Figura 6.11 SOC_{DES} , noul SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1''.....	43
Figura 6.12 Putere totală de încărcare a VE	43
Figura 6.13 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L1 în scenariile S1, S2 și S3	44
Figura 6.14 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L2 în scenariile S1, S2 și S3	44

Figura 6.15 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L3 în scenariile S1, S2 și S3	44
Figura 6.16 Evoluția nivelului de tensiune și a puterii de încărcare VE în nodul 740 pe faza L3 în scenariul S3	45
Figura 6.17 Număr de VE prezente și a celor care se încarcă în scenariul S2 și SMR.....	46
Figura 6.18 Puterea totală de încărcare a VE, consumul casnic și numărul de VE care se încarcă în scenariul SMR.....	47
Figura 6.19 Număr de VE care se încarcă în scenariile S1, S1.2 și S1.6.....	48
Figura 6.20 Număr de VE care se încarcă în scenariile S2, S2.2 și S2.6.....	48
Figura 6.21 Puterea consumată din nodul de echilibru în scenariile S1, S1.2 și S1.6	49
Figura 6.22 Puterea consumată din nodul de echilibru în scenariile S2, S2.2 și S2.6	49
Figura 6.23 Nivelurile de tensiune în nodul 741 pe faza L3 pentru scenariile S1, S1.2 și S1.6	49
Figura 6.24 Nivelurile de tensiune în nodul 741 pe faza L3 pentru scenariile S2, S2.2 și S2.6	49

INTRODUCERE

Prezenta teză este structurată într-un număr de 7 capitole la care se adaugă un capitol introductiv, concluzii, bibliografia și un set de anexe.

Capitolul 1 conține o descriere succintă a situației actuale cu privire la aspectele de natură tehnică, economică și legislativă, precum și descrierea tendințelor viitoare din domeniul producerii, transportului și distribuției energiei electrice, respectiv din domeniul vehiculelor rutiere.

Capitolul 2 detaliază modul în care proliferarea vehiculelor electrice (VE) influențează sectorul energetic, abordând impactul acestora asupra diferitelor segmente ale domeniului. Exemplul regiunii Scandinave subliniază succesul electrificării transportului.

Capitolul 3 detaliază modelele matematice aplicate pentru simularea și analiza rețelor de distribuție în cadrul tezei, cum sunt integrate aceste modele în software-ul Digsilent Power Factory, accentul punându-se pe componentele specifice rețelor de joasă tensiune. În plus, capitolul include un studiu de caz care studiază evoluția consumului de energie electrică a consumatorilor casnici dintr-o rețea de distribuție reală, și propune o metodologie pentru modelarea consumului casnic pe baza măsurărilor efectuate în posturi de transformare.

Capitolul 4 detaliază 2 modele matematice ale VE utilizate pentru încărcare și regimul V2G, așa cum sunt prezentate în literatura de specialitate. În acest context, sunt propuse două modele matematice avansate, bazate pe arhitectura specifică a VE, luând în considerare componente esențiale care influențează performanța lor în timpul încărcării. Se explorează, de asemenea, încărcarea unei flote de VE într-un parc privat, operat conform principiilor de piață și adaptat pentru funcționarea în regim V2G. Analizele cuprind studii despre eficiența energetică în cadrul procesului de încărcare și V2G, precum și evaluarea viabilității economice a funcționării sistemelor V2G.

În Capitolul 5 se prezintă cele mai răspândite soluții de ameliorare a impactului produs de un număr mare de VE asupra RD întâlnite în literatură. Se prezintă un studiu de caz care analizează dacă acest tip de soluții reprezintă o alternativă viabilă și ce piedici intervin în implementarea acestor soluții. Studiul de caz prezentat în acest capitol analizează eficiența soluțiilor tip ToU și o soluție de echilibrare a consumului pe faze într-o rețea de distribuție de joasă tensiune.

În Capitolul 6 se prezintă arhitecturile sistemelor de management a încărcării VE existente și se prezintă arhitectura sistemului de management a încărcării original. Sistemul propus este un sistem descentralizat, care funcționează utilizând echipamentele existente pe orice mașină modernă. De asemenea sunt propuși doi algoritmi de management a încărcării denumite AMI V1 și AMI V2, și se prezintă 2 studii care evaluează performanța algoritmilor pe o rețea test de joasă tensiune. Accentul este pus mai mult pe algoritmul AMI V2 și pe capacitatea acestuia de adaptare la condițiile din rețea; în mod special, adaptarea la variația tensiunii din rețea, la variația în producția a surselor de generare distribuită și la mobilitate crescută.

În Capitolul 7 sunt prezentate concluziile finale, punctate contribuțiile personale ale autorului și direcțiile de cercetare de urmărit în continuare.

CAPITOL 1 Stadiu actual și tendințe în electroenergetică și industria transporturilor

1.1 Tendințe de dezvoltare din domeniul energetic

Evoluțiile cele mai importante din domeniul electroenergetic din momentul actual sunt legate de reducerea emisiilor de GES. Direcțiile de dezvoltare ale domeniului cuprind următoarele:

- Construirea de noi surse de energie regenerabilă și integrarea acestora;
- Integrarea capacităților de stocare a energiei;
- Introducerea și creșterea răspândirii conceptelor Smart-Grid;
- Creșterea numărului și diversificarea surselor de Generare Distribuită (DG);
- Creșterea eficienței în producția energiei;
- Creșterea eficienței în consum;
- Introducerea de noi tipuri de piețe de energie, cu viteză crescută de reacție;
- Introducerea tehnologiilor din domeniul Internet of Things (IoT).

1.2 Transporturi și mobilitate aspecte tehnice, economice și tendințe

1.2.1 Generalități

Domeniul transporturilor este responsabil de aproximativ 14% din emisiile antropogene de GES. De la introducerea vehiculelor electrice pe piață, numărul acestora a crescut continuu [1], [2], în UE numărul de VE vândute în 2020 ajungând la 1,3 milioane, ceea ce reprezintă aproximativ 11% din masa totală a vehiculelor nou înmatriculate [3]. Cu toate că vânzările de VE cresc continuu, acestea în continuare reprezintă doar o fracțiune mică la nivel global și vânzările de VE sunt frânate de anumiți factori.

1.2.2 Tendințe

Actualmente, tehnologiile conectate permit utilizatorilor să aleagă trasee optime, să evite aglomerațiile în trafic și să asigure intervenții prompte ale serviciilor de urgență atunci când este detectată o coliziune violentă. În prezenta teză, este atinsă o tehnologie care face parte din tehnologiile conectate ale mașinilor. Tehnologia utilizată în prezenta teză este denumită DSRC care este o prescurtare din engleză a Dedicated Short-Range Communication și aceasta permite stabilirea comunicației directe și de mare viteză între 2 mașini. UE [4] a decis că începând cu anul 2035 nu se vor mai comercializa vehicule ce produc emisii poluante directe.

Când vine vorba de VE propriu-zise tendința cea mai importantă este creșterea autonomiei VE. Peste 99% dintre mașini își asigură energia necesară propulsiei prin stocarea acesteia electrochimic în bateriile electrice. Pe această ramură se pot distinge 5 direcții importante de dezvoltare:

1. Dezvoltarea conceptelor inovative pentru a crește capacitatea de stocare ca Baterii Solid State.
2. Creșterea vitezei de încărcare a VE.
3. Înlocuirea bateriilor cu rezervoare de hidrogen și celule de combustie [5].
4. Reducerea masei VE.
5. Creșterea eficienței energetice a componentelor din dotarea mașinilor.

CAPITOL 2 Impactul VE asupra sectorului energetic

2.1 Interacțiunea mobilitate electrică – necesar de energie electrică

Introducerea VE a stârnit un interes foarte ridicat în diverse domenii ca poluarea mediului, sănătatea, mediul social, și nu în ultimul rând din partea domeniului energetic. VE interacționează cu toate perimetrele sectorului energetic atunci când acestea se încarcă.

Reacția specialiștilor din sectorul energetic a fost una mixtă: pe de o parte se recunoaște că VE pot reduce poluarea la nivel local [6], pe de altă parte consumul suplimentar de energie electrică provocat de numărul crescând de VE zădărnicește eforturile de “înverzire” ale domeniului energetic [7]. Pentru a ilustra dimensiunea acestui impact, se poate face o estimare simplă a cantității de energie electrică necesară zilnic pentru propulsia VE folosind ecuația (2.1):

$$W_z = \frac{N_{VE} \cdot W_s \cdot d_z}{\eta_i} = \frac{13.000.000 \cdot 0,25 \cdot 40}{0,95} = \frac{136GWh}{zi} = 49,95 \frac{TWh}{an} \quad 2.1$$

După cum se poate deduce, consumul de energie a VE crește odată cu numărul acestora, și dacă ar fi să comparăm consumul anual de energie al tuturor VE existente (cca. 50 TWh) acesta se apropie cu pași rapizi de consumul anual național de energie electrică al României din anul 2020 (57,3 TWh, conform [8]).

În opinia autorului, nici unul dintre subdomeniile sectorului energetic în stadiul lor actual, nu pot satisface țintele de “înverzire”, având în vedere și “invazia” VE.

2.2 Modalități de încărcare a VE

Încărcarea VE este un subiect de mare interes, drept urmare la nivelul UE a fost impus standardul IEC61851 elaborat de Comisia Internațional de Electrotehnică (International Electrotechnical Commission (IEC)). Standardului IEC61851 este utilizat pentru toate tipurile de VE inclusiv trotinetele și bicicletele electrice care nu sunt de interes în prezenta teză. Astfel, conform standardului IEC 61851 există 4 moduri sau niveluri de încărcare a VE care sunt prezentate pe scurt în ceea ce urmează.

Pe scurt, încărcarea la Tip 1 și Tip 2 înseamnă că VE este conectat direct la o priză normală. Diagramele acestor moduri de încărcare se pot vedea în Figura 2.1 și Figura 2.2 respectiv. În acest mod, conversia energiei electrice din AC în DC se face utilizând un redresor cu care este dotată orice VE. În domeniul fabricației de vehicule denumirea înrădăcinată a acestui dispozitiv este încărcător sau charger din engleză. Pentru a evita orice confuzie, în prezenta lucrare atunci când se face referire la acest dispozitiv se va utiliza acronimul ONBC (On-Board Charger).

După cum a fost prezentat încărcarea Tip1 și Tip2 este cea mai răspândită și oricare VE este dotat cu această posibilitate de încărcare și aceste tipuri sunt de interes în prezenta teză.



Figura 2.1 Încărcarea TIP 1

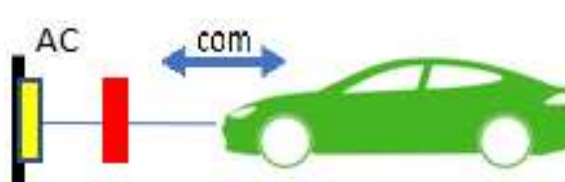


Figura 2.2 Încărcarea TIP 2

Când un VE este conectat la un încărcător de tip 3, acesta va fi alimentat de un dispozitiv de încărcare în AC, destinat utilizării publice. Conform standardului IEC61851 dispozitivele de încărcare Tip3 sunt capabile să furnizeze vehiculelor o putere mult mai mare față de cele de Tip1 și Tip2. Astfel, standardul IEC 61851 spune că puterea maximă livrată este mai mare de 22 kW, limitată de puterea electrică a ONBC.

Producătorii de VE și-au dat seama că posesorii de VE vor dori să își încarce mașinile foarte rapid în anumite situații. Ca să răspundă acestor necesități aceștia au dezvoltat (împreună cu furnizorii de echipamente pentru rețele electrice) încărcarea în DC, diagrama căreia se poate vedea în Figura 2.3.

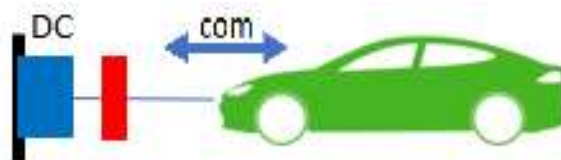


Figura 2.3 Încărcarea TIP 4

Conform standardului IEC61851, puterea maximă de încărcare pentru dispozitivele de Tip 4 este de 80 kW. Totuși, procesul de standardizare al stațiilor de încărcare nu avansează suficient de repede pentru a se alinia cu dezvoltarea tehnologiei de încărcare VE. Astfel, se pot da exemple ca [9] unde este prezentat un încărcător de 360 kW și [10] care discută de dezvoltarea unui încărcător de 900 kW.

2.3 V2G

Interesul domeniului electroenergetic în VE a crescut și mai mult în 1997 când a fost introdus conceptul de Vehicle to Grid (V2G) [11]. Acest concept propune utilizarea HVB din dotarea VE sub forma unei capacități de stocare a energiei. Capacitatea de stocare a bateriei de la bordul unui VE este mică, nesemnificativă ca să fie luată în considerare la nivelul sistemelor electroenergetice mari însă suficient de mare pentru a fi considerată la nivelul RD.

Diverse companii producătoare de vehicule, precum Renault [12] și Nissan [13], afirmă că modelele lor pot suporta regimul V2G. Similar, producătorii de echipamente pentru rețelele electrice, ca ABB [14], confirmă producția de dispozitive compatibile cu regimul V2G. Mai mult de atât, deja au apărut și standarde care guvernează funcționarea în regim V2G, precum ISO 15118-20. Acest lucru confirmă încă odată interesul crescut pentru regimul V2G.

2.4 Încărcarea VE, sumar și situația actuală din punct de vedere tehnic și socioeconomic

Din punct de vedere social și economic Tipurile 1 și 2 de încărcare a VE fac parte din categoria încărcătoare private, în timp ce Tipurile 3 și 4 fac parte din categoria încărcării publice. Din punct de vedere economic atunci când un VE se încarcă în privat, costurile cu energia sunt mult mai mici față de cele publice, așa cum se poate vedea în [15].

Tarifele de încărcare (în afara anumitor excepții) cresc odată cu puterea maximă ce poate fi furnizată de EVSE, în mod special din cauza creșterii investiției. Dar un studiu socio-economic [16] efectuat în SUA arată că 77% dintre VE sunt încărcate acasă, unde pot obține prețuri mai mici cu energia. Mai mult de atât, studiul prevede că până în 2025, 65% din cantitatea de energie consumată de VE va fi în continuare livrată din rețelele de distribuție rezidențiale. Impactul VE asupra producției de energie electrică

După cum este foarte bine știut, în SEE în permanență trebuie să existe o balanță între energia consumată și cea produsă. Efectele lipsei de capacitate de producție se văd cel mai bine dacă sunt analizate sistemele de dimensiuni mici, unde capacitatea de producție totală este limitată. Astfel, [17] prezintă previziuni de curbă de sarcină produsă de încărcarea VE asupra sistemului electroenergetic din Maldive.. Rezultatele studiului arată că pentru integrarea fiecărui VE este necesară o investiție de 500 USD.

În opinia autorului un studiu interesant a fost efectuat în țările din peninsula Scandinavă [18]. În această zonă mașinile convenționale întâmpină probleme, în mod special datorită creșterii vâscozității uleiului. Pentru a contracara problema, motorul termic este dotat cu rezistențe și mașina este conectată la RD pentru a preveni răcirea. Acest lucru înseamnă că de fapt RD din țările scandinave sunt într-o oarecare măsură mai bine pregătite de o adopție a VE, față de țările UE, din cauză că rețeaua destinată încălzirii mașinilor convenționale se poate utiliza pentru încărcarea VE. Acest lucru se poate vedea și în statisticile de adopție de VE noi în momentul actual la nivelul UE [3], care arată că în Norvegia 55% din mașinile înmatriculate în 2020 sunt VE și 20% sunt Vehicule Hibride Plug-in (PHEV), și asta în ciuda problemelor ce sunt întâmpinate de VE și PHEV în condiții de frig extrem [19].

Autorul recunoaște că UE a luat măsuri pentru satisfacerea nevoilor VE dar acestea sunt insuficiente. În opinia autorului, cea mai importantă măsură în producția energiei care ar trebui impusă, este creșterea numărului de prosumatori cu surse diversificate de producere. În UE există o legislație ce avantajează prosumatorii, dar măsurile existente au dus la instalarea capacităților de producție fotovoltaice în mod special, după cum se poate vedea în [20].

2.5 Impactul VE asupra rețelelor de distribuție

Diversele tipuri de încărcare enumerate și descrise pe scurt în subcapitolul 2.2 vor avea impact diferit asupra RD. Dacă impactul încărcării de Tip 1 și Tip 2 se poate rezuma ca o creștere a consumului de energie la nivelul consumatorilor casnici racordați la RD, încărcările de Tip 3 și Tip 4 vor necesita PT noi, extinderi ale rețelelor de distribuție de MT, și altele.

Impactul încărcării VE asupra RD este unul foarte puternic după cum a fost subliniat în [21]. Astfel, [21] analizează impactul într-o RDJT nou construită din Malaiezia, în diverse scenarii de adopție a VE. Concluziile acestui studiu arată că, la o adopție a VE de doar 20%, dezechilibrul nivelelor de tensiune între faze depășește limitele impuse. Normele tehnice din Malaiezia impun ca în momentul construirii orice RD să fie dimensionată la 200% din sarcina electrică a consumatorilor ce sunt alimentați de aceasta, în faza de proiectare; cu toate acestea, la o adopție de 30% a VE se depășesc limitele termice ale conductoarelor, la o adopție de 40%, sunt depășite nivelurile maxime admisibile ale căderilor de tensiune și la 80% este depășită limita termică a transformatorului.

Specialiștii din domeniul energetic au semnalat că investițiile sunt necesare, dar vor presupune costuri foarte ridicate, având eficiență economică limitată. Astfel, RDJT nou construită, adaptată la consumul suplimentar produs de VE, va fi utilizată doar dacă mașinile sunt prezente și conectate la RDJT pentru încărcare, ori statisticile de utilizare a mașinilor în UE [22] arată că între 27% și 47% (depinde de țară) dintre deplasări sunt efectuate cu scopul de navetă pentru activități efectuate predominant în timpul zilei ca serviciu, probleme personale, cumpărături și altele. Practic acest lucru înseamnă că, o mare parte a

mașinilor vor ajunge acasă după amiază și vor pleca de dimineață, creând o congestie în RDJT seara - la vârf de sarcină și pe timp de noapte.

Din fericire, managementul încărcării VE este o soluție pentru a rezolva cel puțin parțial toate aceste probleme. Ca măsură de management în [21] autorii propun controlul fazei de pe care se încarcă VE. Limitele sigure de adopție a VE cresc semnificativ; pentru RDJT noi la 100% În opinia autorului, studiul are următoarele neajunsuri:

- Toate VE sunt identice și toate necesită aceeași cantitate de energie;
- Sarcina electrică produsă de fiecare VE este probabil pur rezistivă (acest aspect nu este menționat în lucrare), constantă și are valoarea de 3,3 kW pe o perioadă de 6 ore;
- Nu se știe dacă în studiu este modelată în vreun fel mobilitatea VE.

În opinia autorului impactul încărcării de Tip1 și Tip 2 asupra RD are următoarele cauze:

1. Puterea mică consumată din RD nu obligă posesorii de VE să declare consumul suplimentar la OD. VE se încarcă de la o priză existentă a gospodăriei fără ca OD să știe de existența VE.
2. Lipsa unei modalități de management a încărcării VE. Aceasta nefiind impusă de niciun standard sau la nivel legislativ.
3. Lipsa unei colaborări între producătorii de autovehicule și organizațiile ce reprezintă OD. Producătorii de vehicule își câștigă banii din vânzări de mașini. Astfel, când ei vând un VE aceștia consideră că furnizarea energiei electrice pentru acel VE este în datoria OD; acest punct de vedere nu este în totalitate greșit și este o urmare a unui vid legislativ. Astfel, producătorii de mașini beneficiază de pe urma vânzării VE ca și cum acestea nu ar emite GES de-a lungul vieții sale.

2.6 Impactul VE asupra aspectelor economice din SEE

Influența VE asupra economiei SEE se rezumă la creșterea puterii electrice consumate și implicit a energiei. E important de menționat că impactul economic al numărului crescând de VE este o consecință a perturbărilor ce sunt produse de acestea în timpul încărcării. Astfel, pentru contracararea efectelor negative OTS, OD și producătorii de energie vor fi nevoiți să investească în întărirea rețelelor și în noi surse de producție a energiei, după cum a fost prezentat în [23].

În [24], a fost analizat impactul asupra prețului energiei electrice în SEE din peninsula Iberică. În acest studiu s-au presupus cele 3 niveluri de adopție a VE din proiectul MERGE [25] și capacitățile noi de producție planificate a intra în funcțiune în Spania și Portugalia. Se presupune că VE se încarcă cu o putere electrică constantă de 3 kW pentru o perioadă de 6 ore, și au fost construite 3 scenarii de încărcare a VE care diferă între ele doar prin ora la care începe încărcarea. Rezultatele arată că energia electrică va fi mai scumpă pe piața angro cu cel puțin 1,72% în scenariul cu cea mai mică adopție (adopție de 0,5%); la o adopție de 2% prețul energiei va crește cu 17,2%. Cel mai mare dezavantaj evidențiat de această lucrare este că prețul energiei este valid pentru întreaga piață de energie și nu va afecta doar posesorii de VE. Această lucrare evidențiază deficiențele mecanismelor de piață existente, fiind necesare mecanisme noi care să permită valorificarea flexibilității în consum a VE.

CAPITOL 3 Studiu de caz: Determinarea curbei de sarcină și estimarea fazei pe care sunt conectați consumatorii casnici.

Cunoașterea modului în care energia este consumată este crucială pentru identificarea măsurilor de eficientizare a consumului energetic; acest fapt este ilustrat de inițiativele la nivelul UE [26] și ONU [27], de încurajare și finanțare a infrastructurii de tip Smart Metering.

O metodologie de reconstruire a curbelor de sarcină la consumatorii casnici dintr-o RD suburbană a fost elaborată în [28] și pentru prezenta teză de doctorat. Metodologia prezentată în detaliu în cele ce urmează permite elaborarea profilurilor de consum pe baza următoarelor date:

1. Profilul de consum și nivelul de tensiune măsurate la bornele de JT ale transformatorului, cu un interval de eșantionare de 10 minute.
2. Schema monofilară a rețelei electrice, în care sunt prezentate secțiunile conductoarelor de fază și neutru, împreună cu specificațiile transformatorului.
3. Consumurile de energie la fiecare consumator pentru perioada analizată împreună cu tipul consumatorului – monofazat sau trifazat.

3.1.1 Reconstituirea profilurilor normalizate de consum

Pentru a construi profilurile de consum la interval de eșantionare de 10 minute, prima dată este necesară reconstituirea profilurilor de consum orare. Acest lucru se face cu ajutorul profilurilor tip de consum ce se pot regăsi în [29]. Construirea profilului orar se face folosind ecuația (3.1):

$$P_h(T, i) = W(i) \cdot P_N(T, i, C(i)) \quad 3.1$$

unde: i – indicele consumatorului, cu valori între 1... N_c .

N_c – numărul total de consumatori.

$P_h(T, i)$ – Puterea instantanee consumată de gospodăria i la momentul de timp T .

$W(i)$ – Energia zilnică consumată de consumatorul i .

$P_N(T, i, C(i))$ – Puterea instantanee consumată, în u.r. la consumatorul i , ce face parte din categoria C de consum, la momentul T .

$C(i)$ – Categoria de consum a gospodăriei i , conform categoriilor de mai sus.

T – momentul de timp al zilei (conform metodologiei din [29], T poate lua valori de la 0 la 23).

Trecerea de la profiluri de consum orare $P_h(T, i)$ la profiluri de consum cu interval de eșantionare de 10 minute $P_{10}(t, i)$, se face prin popularea matricei $P_h(T, i)$ cu valori identice intervalului de consum. Ecuațiile utilizate în acest scop se pot vedea în (3.2).

$$\begin{aligned} P_{10}(t, i) &= P_h(T, i) \\ t &= T + j \cdot 10min \end{aligned} \quad 3.2$$

unde: t – momentul de timp cu interval de eșantionare de 10 min.

$P_{10}(t, i)$ – Puterea instantanee consumată de gospodăria i la momentul de timp t .

j – variabilă ajutătoare, cu valori între 0 și 5 pentru fiecare moment de timp T .

3.1.2 Denormalizarea profilurilor de consum

Pentru denormalizarea curbelor de sarcina la consumatori se construiesc 3 vectori ajutători, și anume: vectorul puterii totale la consumatori, vectorul puterii totale consumate de la transformator și vectorul diferență dintre acestea două. Cei doi vectori se utilizează folosind (3.3).

$$\begin{aligned} P_{sum}(t) &= \sum_{i=1}^{i=N_c} P_{10}(t, i) \\ P_{tot}(t) &= \sum_{ph=1}^{ph=3} P_{mas}(t, ph) \\ \Delta P(t) &= P_{sum}(t) - P_{tot}(t) \end{aligned} \quad 3.3$$

unde: $P_{sum}(t)$ – puterea electrică totală consumată, la momentul t .

$P_{tot}(t)$ – valoarea măsurată la bornele transformatorului de MT/JT a puterii active absorbită în rețea, la momentul t .

$P_{mas}(t, ph)$ – valoarea măsurată pe faza ph a puterii active absorbite în rețea, la momentul t .

$\Delta P(t)$ – vectorul diferență dintre puterea electrică totală consumată și puterea totală măsurată, la momentul t .

Curba de sarcină a fiecărui consumator este apoi ajustată folosind relația (3.4), în funcție de vectorul diferență calculat anterior.

$$P_{den}(t, i) = P_{10}(t, i) \cdot \left(1 + \frac{\Delta P(t)}{P_{10}(t)} \right) \quad 3.4$$

unde: $P_{den}(t, i)$ – puterea electrică denormalizată consumată de clientul i la un moment dat de timp t .

3.1.3 Determinarea fazei de conexiune a consumatorilor

Autorul, în prezenta lucrare, a preferat în schimb să dezvolte o metodă analitică care să-i permită estimarea probabilistică a fazei de conexiune a consumatorilor. Pentru rezolvarea problemei s-a ales metoda Algoritmului Genetic (AG). Pentru a aplica metoda AG pe problema determinării fazelor la care sunt racordați un număr de N_c consumatori s-a decis reprezentarea soluțiilor așa cum sunt prezentate în Figura 3.1. După cum se poate vedea în Figura 3.1, fiecărui consumator i-a fost adăugată o caracteristică suplimentară numită “tip”, care ia valoarea 1 dacă consumatorul este monofazat și 3 dacă este trifazat.

	G1	G2	G3	...	G_Nc
fază	1	2	1	...	2
tip	1	1	3	...	1

Figura 3.1 Structura cromozomilor

Pașii ce urmează a fi parcurși în mod iterativ sunt de fapt pașii generici ai oricărui AG:

1. **Generarea populației inițiale**, se face în mod aleatoriu ținând cont de tipul consumatorului.
2. **Selecția cromozomilor** se face cu utilizarea “regulii ruletei” [30].
3. **Încrucișarea** are loc între 2 cromozomi “părinți” aleși aleatoriu din populația inițială.

4. Mutația.

5. **Evaluarea cromozomilor.** Pentru fiecare individ k din populația actuală se calculează curbele de sarcină trifazate, folosind ecuația (3.5).

$$P_{rez}(t, ph(k, i)) = \sum_{i \in C_{ph}} P_{den}(t, i) \quad 3.5$$

unde: C_{ph} – mulțimea consumatorilor care sunt racordați la faza ph .

$P_{rez}(t, ph)$ – puterea electrică pe faza ph la momentul t rezultată din distribuirea consumatorilor pe faze conform soluției descrise de unul din cromozomii din populația curentă.

$ph(k, i)$ – faza pe care a fost distribuit consumatorul i în cadrul cromozomului k .

Funcția obiectiv generală este definită în ecuația (3.6).

$$Ob = \min_k \left(\max_{ph} \left(\max_t (|P_{rez}(t, ph(k, i)) - P_{mas}(t, ph)|) \right) \right) \quad 3.6$$

Puterea reactivă este reconstituită puțin diferit. Profilurile de consum ale puterii reactive, sunt denormalizate așa cum este descris în subcapitolul 3.1.2 și coroborate continuu cu faza la care a fost alocată puterea activă a consumatorului. Pentru o introducere ușoară în programul DPF, autorul recomandă stocarea acestor date sub formă matriceală cu structura ce se poate vedea în Tabelul 3.1

Tabelul 3.1 Structura se stocare a curbelor de sarcină pentru introducerea în DPF

t	$P_R(i)$	$Q_R(i)$	$P_S(i)$	$Q_S(i)$	$P_T(i)$	$Q_T(i)$	...	$P_R(N_c)$	$Q_R(N_c)$	$P_S(N_c)$	$Q_S(N_c)$	$P_T(N_c)$	$Q_T(N_c)$
1	0	0	0,2	0,02	0	0	...	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01
2	0	0	0,3	0,05	0	0	...	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
144	0	0	0,15	0,01	0	0	...	0,2	0,01	0,2	0,01	0,2	0,01

Coloanele următoare sunt dedicate efectiv puterilor electrice consumate pe fiecare fază în parte $P_{ph}(i)$ și $Q_{ph}(i)$. După cum se poate vedea în Tabelul 3.1, în cazul consumatorilor monofazați (exemplul consumatorului i) tabelul trebuie populat cu puteri egale cu 0 pentru fazele pe care consumatorul nu este racordat. Astfel, un consumator monofazat este modelat în DPF ca un consumator trifazat tip stea, care consumă energie de pe o singură fază.

Pe lângă distribuția pe faze în RDJT nu este cunoscută nici poziționarea exactă a consumatorilor. Când autorul se referă la poziționarea consumatorilor în RDJT, aceasta are în vedere poziția consumatorului în schema monofilă, respectând procedeul descris în continuare:

1. Pe baza schemei monofilare se construiește vectorul care conține distanțele electrice dintre postul de transformare și consumatori în ordine crescătoare, sub forma $\mathbf{R}=[R_1 R_2 R_3 R_4 R_{75} R_{76} R_5 R_6]$.
2. Se construiește o matrice $S_{desc}(i, t)$ care conține puterile aparente consumate la momentul t de consumatorul i , pornind de la reprezentarea din Tabelul 3.1, în care puterile consumate sunt aranjate în ordinea descrescătoare a cantităților de energie consumată de fiecare consumator $W(i)$.
3. În continuare, amplasarea consumatorilor în rețea se face completând o matricea $S_{final}(i, t)$, respectând următorul model stocastic:
 - a. Se parcurge matricea $S_{desc}(i, t)$ în funcție de consumatori. Pentru fiecare consumator, se parcurg următorii pași:
 - i. Se generează un număr aleatoriu p în intervalul $[0,1]$.

-
-
- ii. Dacă $p \geq p_s$ (valoare prag predefinită), pe poziția i din matricea $S_{final}(i,t)$ se inscripționează curba de sarcină de pe poziția 1 din matricea $S_{desc}(i,t)$.
 - iii. Dacă $p < p_s$ (valoare prag predefinită), pe poziția i din matricea $S_{final}(i,t)$ se inscripționează curba de sarcină de pe ultima poziție din matricea $S_{desc}(i,t)$.
 - iv. Din matricea $S_{desc}(i,t)$ este ștearsă curba de sarcină poziționată (prima sau ultima).
- b. Se parcurg pașii precedenți până când matricea $S_{desc}(i,t)$ devine vidă.

3.1.4 Descrierea rețelei electrice

Rețeaua electrică test pe care a fost rulată metodologia descrisă mai sus, este o RDJT existentă reală, radială arborescentă, cu 3 derivații. Rețeaua alimentează 129 de consumatori casnici. Lungimea totală a RDJT analizate este de 1370 m. Fiecare nod de rețea corespunde unui stâlp, iar lungimea fiecărui tronson dintre doi stâlpi consecutivi a fost considerată egală cu 40 de m, care este distanța care rezultă cel mai des din aplicarea standardelor din România.

3.1.5 Rezultate

Profilurile măsurate de putere trifazată consumată și profilurile obținute în urma simulărilor pentru factorii prag p_s cu valorile 0.3, 0.5, 0.7 și 0.9, sunt prezentate în Figurile 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 și 3.6 respectiv.

Analizând Figurile 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 și 3.6 se pot trage următoarele concluzii:

1. Profilurile de consum obținute în urma aplicării metodologiei prezentate urmăresc același trend general.
2. Profilurile de putere obținute în urma simulării variază în jurul acelorași valori, având vârfuri și goluri de consum simultane.
3. Se poate observa că profilurile de sarcină simulate urmăresc același trend, pe când profilurile de sarcină măsurate prezintă iregularități. Profilurile de sarcină simulate nu reușesc să cuprindă toate aceste iregularități. Precizia simulărilor este afectată de aceste evenimente.
4. O examinare amănunțită a graficelor va evidenția faptul că, pe măsură ce factorul de prag p_s este mărit, puterea consumată din nodul de echilibru scade. Acest fapt se datorează caracterului stocastic al metodei folosite.

3.1.6 Concluzii

Studiul prezintă o metoda stocastică de adaptare a curbelor de sarcină timp cu eșantionare la 60 de minute la măsurători efectuate la intervale mai mici de timp. Metodologia permite totodată estimarea curbelor de sarcină ale consumatorilor analizați prin adaptarea curbelor tip de sarcină ale consumatorilor curba totală de sarcină măsurată la bornele de JT ale transformatorului.

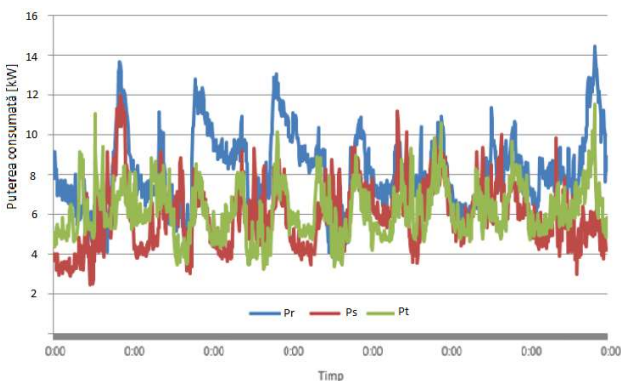


Figura 3.2 Puterea electrică consumată de la bornele transformatorului MT/JT

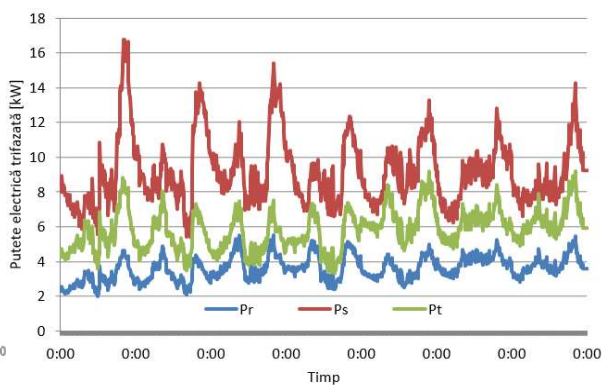


Figura 3.3 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.3$

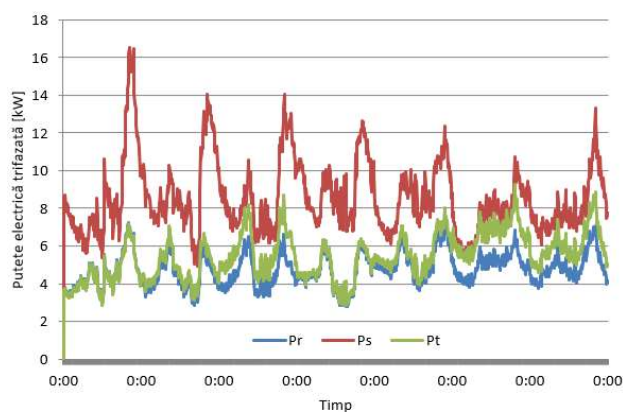


Figura 3.4 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.5$

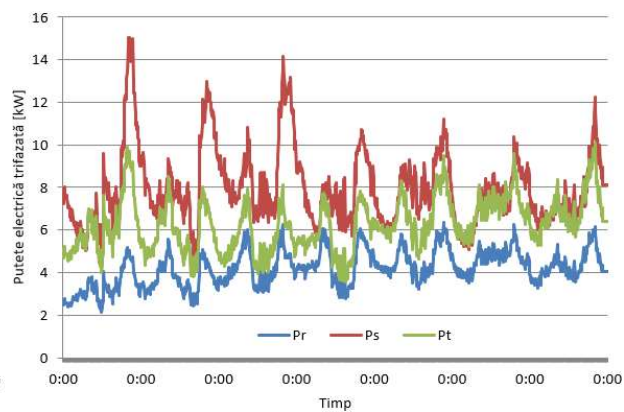


Figura 3.5 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.7$

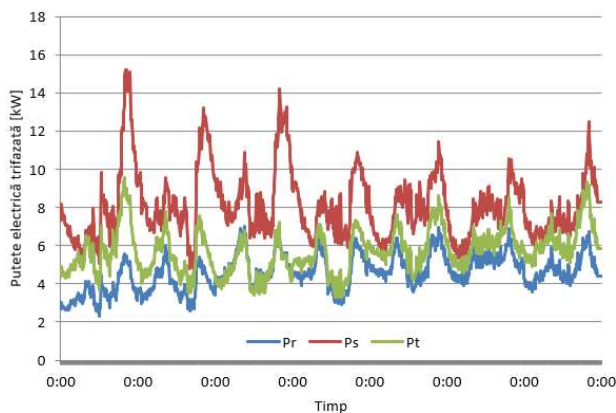


Figura 3.6 Puterea electrică consumată rezultată pentru factorul $p_s=0.9$

Având în vedere scopul prezentei lucrări de a evalua impactul VE asupra RDJT, prezentul studiu este de interes, având în vedere anul în care a fost realizat. Studiul a fost publicat în 2012, an în care VE erau o noutate și nu erau răspândite; astfel, profilurile de sarcină din această lucrare nu sunt distorsionate de consumul suplimentar de putere produs de VE și pot fi folosite ca referințe pentru consumul extra-VE.

CAPITOL 4 Modelarea VE

4.1 Arhitectura Vehiculelor Electrice

Primul pas în construirea modelului matematic pentru VE este consultarea arhitecturii acestora. Cu toate că arhitectura de încărcare a VE și a VEH nu este standardizată, se pot distinge elemente comune în arhitectura sistemului de încărcare. Astfel, arhitectura sistemului de putere și control al încărcării pentru orice VE, VEH, PHEV și FCEV (Fuel Cell Electric Vehicle ()) se poate vizualiza în Figura 4.1.

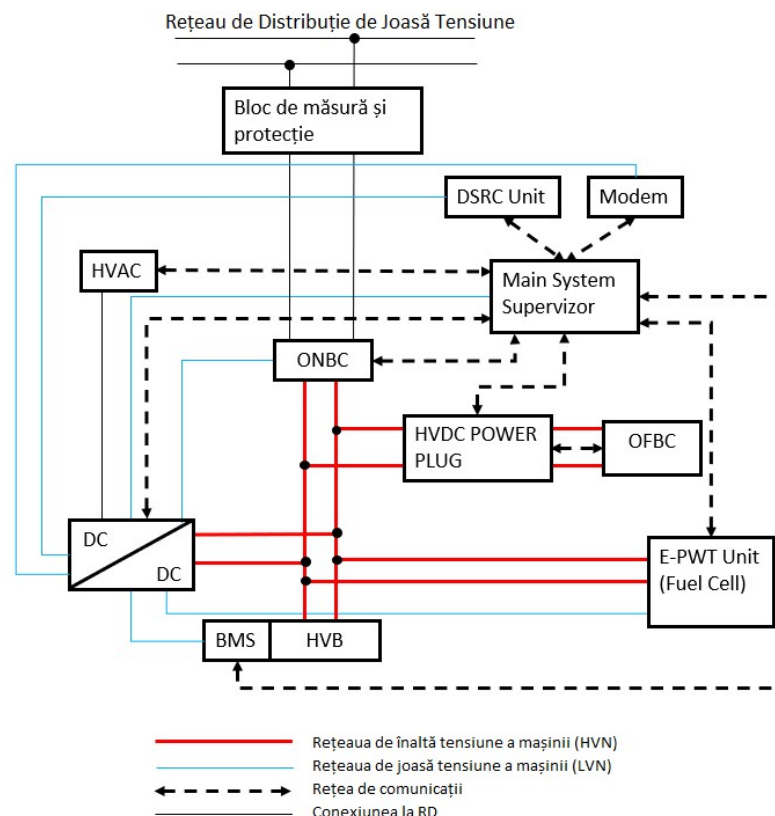


Figura 4.1 Arhitectura sistemului de încărcare a unui VE

Se poate observa ușor că în arhitectura mașinilor cu propulsie electrică, la nivel vehicul există 3 subsisteme distincte, și anume:

- Rețeaua de comunicații, care este utilizată pentru implementarea unor funcționalități complexe cum ar fi condusul, încărcarea, răcirea sistemelor electronice și altele.
- Rețeaua de joasă tensiune, care alimentează la 14V DC elementele de comandă și control ale vehiculului.
- Rețeaua de înaltă tensiune (HVN din engleză High Voltage Network), care este principalul sistem care asigură propulsia autovehiculului.

4.2 Modelul matematic de putere al VE în timpul încărcării și în regim V2G din RDJT.

Din punctul de vedere a RDJT, orice VE conectat este de fapt un consumator cu pierderi interne de energie și care are capacitatea de a-și regla puterea consumată în funcție de diverse necesități. Modelul matematic al unui VE reunește modelul matematic al unui generator de putere și al unui consumator, dar

acestea nu funcționează niciodată în același timp. Schema echivalentă a unui VE în timpul încărcării și la funcționare în regim V2G se poate vizualiza în Figura 4.2.

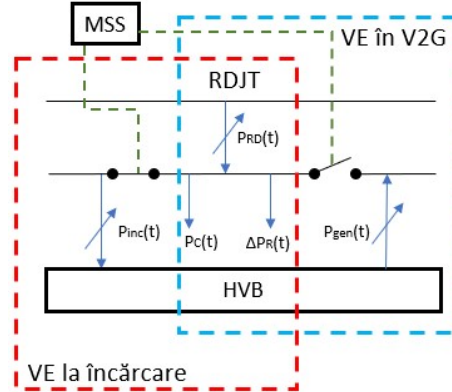


Figura 4.2 Schema de funcționare a unui VE în timpul încărcării și în regim V2G

După cum se poate vedea, pozițiile contactelor releului din schema de funcționare sunt opuse, astfel încât VE nu funcționează niciodată în regim de generator și consumator concomitent. Puterea consumată sau injectată din/în RDJT este $P_{RD}(t)$; $P_{inc}(t)$ este puterea efectiv stocată în HVB în timpul încărcării și $P_{gen}(t)$ este puterea extrasă din HVB atunci când vehiculul funcționează în regim V2G, fiind de asemenea evidențiate în schemă pierderi ce au surse diferite, și anume pierderile de natură rezistivă $P_R(t)$ și puterea consumată de echipamentele implicate în procesul de încărcare $P_C(t)$. Schema echivalentă prezentată în Figura 4.2 ar putea suporta simplificări suplimentare dacă în locul unui generator se consideră o sursă ideală de putere; care la rândul ei, poate fi privită ca un consumator cu puteri negative. Pentru simplificarea modelului se definește o putere $P_{BAT}(t)$ care este puterea stocată în HVB atunci când $P_{BAT}(t) > 0$, și reprezintă o putere extrasă din HVB când $P_{BAT}(t) < 0$. Astfel, schema simplificată a unui VE indiferent de regimul în care acesta funcționează, se poate vedea în Figura 4.3 unde $P_{BAT}(t)$ variază în intervalul $[-P_{maxHVB}, P_{maxHVB}]$.

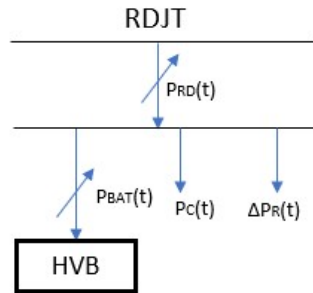


Figura 4.3 Schema echivalentă a modelului matematic simplificat VE conectat la RDJT

Astfel, conform Figurii 4.3, se poate scrie ecuația de bilanț de puteri instantanee:

$$P_{RD}(t) = P_{BAT}(t) + P_C(t) + \Delta P_R(t) \quad 4.1$$

unde:

- $P_{RD}(t)$ – Puterea consumată din RDJT;
- $P_{BAT}(t)$ – Puterea stocată electrochimic în HVB;
- $P_C(t)$ – Puterea consumată pentru alimentarea consumatorilor de la bordul VE;
- $\Delta P_R(t)$ – Pierderi rezistive la nivelul echipamentelor VE.

În ecuația (4.1) puterea consumată sau injectată din/în RDJT $P_{RD}(t)$ este de fapt singura variabilă cunoscută. Cel mai des pierderile de putere $\Delta P_R(t)$ și $P_C(t)$ sunt fie ignorate (atunci când se ia în calcul un VE ideal), fie sunt modelate ca și un simplu procent din puterea consumată $P_{RD}(t)$.

În această situație imediat se pot distinge cele 2 modele matematice utilizate:

1. Modelul matematic al unui VE ideal
2. Modelul matematic simplificat al unui VE.

4.2.1 Modelul matematic al unui VE ideal

Când se pune problema modelării unui număr ridicat de VE (de ordinul milioane, în studii la nivel de țară) sau când pierderile interne ale unui VE nu au importanță, acestea se pot ignora. Astfel, pierderile de putere din (4.1) se consideră $P_C(t) = 0$ și $\Delta P_R(t) = 0$ rezultând astfel $P_{BAT}(t) = P_{RD}(t)$. Modelarea VE ca și VE ideale este utilă când se fac studii la nivelul zonelor geografice extinse, când sunt modelate mii sau chiar milioane de VE. Pe de altă parte, toți cercetătorii știu că nu toată energia consumată din RD ajunge să fie stocată în HVB, motiv pentru care a fost introdus modelul matematic simplificat al VE.

4.2.2 Modelul matematic simplificat al unui VE ideal

Când se analizează un număr mare de VE, adesea implicând mii de unități, dar se dorește totuși să nu se ignore pierderile asociate acestora, este posibil să se recurgă la un model matematic simplificat. În acest model, consumul echipamentelor de pe bordul VE este ignorat $P_C(t)=0$, și pierderile rezistive se consideră a fi un procent fix din puterea consumată din RD. Astfel, ecuația (4.1) devine (4.2).

$$P_{BAT}(t) = P_{RD}(t) \cdot \eta; \quad 4.2$$

unde: - η randamentul general al încărcării VE.

4.2.3 Modelul matematic exact al unui VE real

În Figura 4.4 este prezentată circulația de puteri în timpul încărcării. Sensul de circulație al puterilor a fost ales cel normal, adică VE se încarcă. Puterile reprezentate în figură au următoarele semnificații:

- $P_{HVN}(t)$ – Puterea injectată de ONBC/OFBC în rețeaua de înaltă tensiune a vehiculului;
- $P_{BAT}(t)$ – Puterea stocată în HVB;
- $P_{AUX}(t)$ – Consumul auxiliar de putere;
- $P_{AUXBMS}(t)$ – Consumul de putere al BMS;
- $P_{HVAC}(t)$ – Consumul de putere al unității HVAC;
- $P_{COM}(t)$ – Consumul de putere al unităților de comunicației;
- $P_{MSS}(t)$ – Consumul de putere al MSS;
- $P_{ONBC}(t)$ – Consumul elementului de comandă al ONBC;
- $P_{LVN}(t)$ – Puterea injectată de DC/DC în LVN;
- $\Delta P_{HVN}(t)$ – Pierderile de putere în HVN;
- $\Delta P_{ONBC}(t)$ – Pierderile localizate pe elementele de electronică de putere a ONBC/OFBC;
- $\Delta P_{BAT}(t)$ – Pierderi interne în HVB;

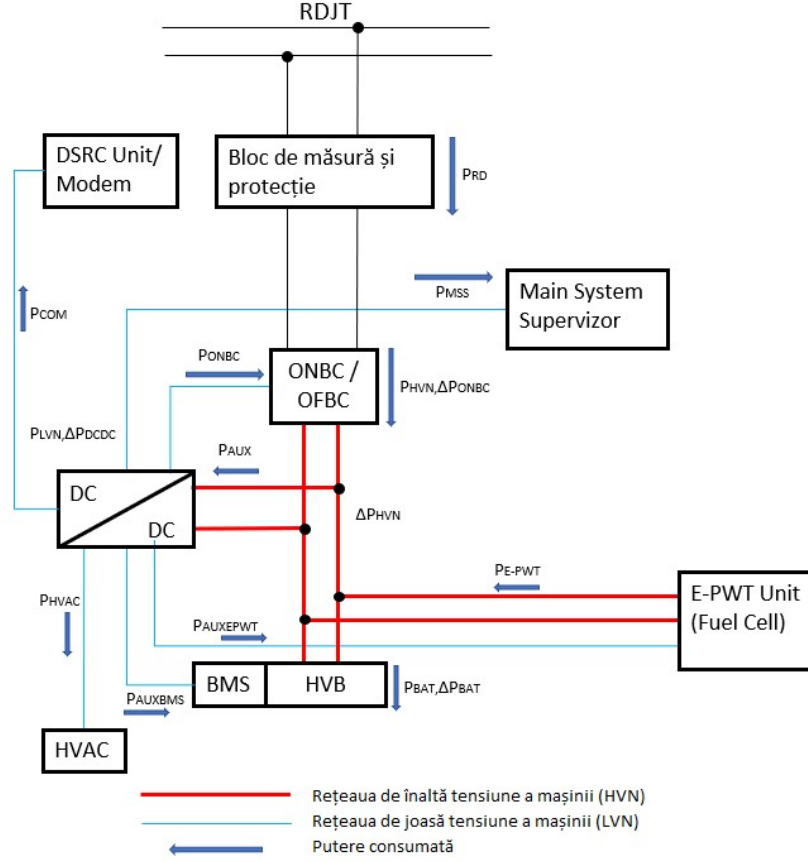


Figura 4.4 Circulația de puteri în timpul încărcării VE

- $\Delta P_{DCDC}(t)$ – Pierderile localizate pe elementele de electronică de putere a DC/DC;
- $P_{AUXEPWT}(t)$ – Consumul elementelor de comandă a E-PWT, diferit de 0 doar pentru PHEV și FCEV, și doar în regimuri specifice;
- $P_{E-PWT}(t)$ – Puterea injectată de capacitatea suplimentară de stocare, diferită de 0 doar pentru PHEV și FCEV, și doar în regimuri specifice.

Pe perimetrul definit în Figura 4.4 se pot scrie ecuațiile de circulație de puteri, după cum urmează:

$$P_{RD}(t) + P_{E-PWT}(t) = P_{BAT}(t) + P_{AUX}(t) + \Delta P_{HVN}(t) + \Delta P_{BAT}(t) + \Delta P_{ONBC}(t); \quad 4.3$$

$$P_{AUX}(t) = P_{LVN}(t) + \Delta P_{DCDC}(t); \quad 4.4$$

$$P_{LVN}(t) = P_{ONBC}(t) + P_{MSS}(t) + P_{COM}(t) + P_{HVAC}(t) + P_{AUXBMS}(t) + P_{AUXEPWT}(t); \quad 4.5$$

Având în vedere ecuațiile (4.3), (4.4) și (4.5), semnificațiile puterilor reprezentate în Figura 4.4 și echivalentul simplificat al acestora reprezentat în Figura 4.3, se pot scrie următoarele ecuații:

$$\Delta P_{RD}(t) = \Delta P_{DCDC}(t) + \Delta P_{HVN}(t) + \Delta P_{BAT}(t) + \Delta P_{ONBC}(t); \quad 4.6$$

$$P_C(t) = P_{LVN}(t) = P_{ONBC}(t) + P_{MSS}(t) + P_{COM}(t) + P_{HVAC}(t) + P_{AUXBMS}(t) + P_{AUXEPWT}(t); \quad 4.7$$

În cele ce urmează, se vor prezenta câteva detalii tehnice privind funcționarea fiecărui echipament al vehiculului și modalitatea de calcul a puterilor consumate și a pierderilor locale acolo unde este cazul.

Cum puterea consumată din RDJT este reglabilă în plaja $[-1,1]$ din puterea nominală a ONBC, puterea consumată din RDJT se poate scrie ca și produs dintre coeficientul de control $y(t)$ și puterea nominală a încărcătorului P_{NOM} , așa cum se poate vede în ecuația (4.8):

$$P_{RD}(t) = P_{NOM} \times y(t); \quad 4.8$$

Atunci când VE funcționează în regim V2G, este de fapt singura situație în care puterea $P_{RD}(t)$ va avea valori negative. Până și vehiculele FCEV și PHEV, care nu au o nevoie primordială de încărcare, atunci când sunt conectate la RD vor prefera să se încarce, pentru a economisi resursele limitate de combustibil (hidrogen sau combustibil fosil) existente pe mașină.

În timpul încărcării din RD, toate cele 3 subtipuri de VE (VE, PHEV și FCEV) preferă să consume energia din rețea, deci $P_{E-PWT}(t)=0$, din cauză că energia este nelimitată. Singurele situații în care VE este conectat la RDJT și $P_{E-PWT}(t) \neq 0$ sunt situații de avarie în care RDJT nu este capabilă să furnizeze energia, caz în care VE pot injecta energie în rețea pentru a oferi un suport acesteia. Acest regim de funcționare este denumit în literatură ca regim Vehicle to Grid (V2G) [11]. Regimul V2G a VE este un regim special, care poate aduce beneficii substanțiale pentru SEE dar în același timp poate ridica multiple probleme.

Astfel, în Figura 4.4 au fost reprezentate puterea consumată de componenta de control P_{ONBC} și pierderile de putere care apar local la nivelul componentei de electronică de putere ΔP_{ONBC} . ΔP_{ONBC} se modelează ca fiind o pierdere procentuală de putere care depinde de puterea transferată și de randamentul ONBC (η_{ONBC}), așa cum se poate vedea în relația (4.9). Pe baza ecuației (4.9) se calculează puterea injectată în HVN din RD, folosind relația (4.10).

$$\Delta P_{ONBC}(t) = (1 - \eta_{ONBC}) \cdot P_{RD}(t); \quad 4.9$$

$$P_{HVN}(t) = P_{RD}(t) - \Delta P_{ONBC}(t) + P_{E-PWT}(t) = P_{RD}(t) \cdot \eta_{ONBC} + P_{E-PWT}(t); \quad 4.10$$

Pierderile la nivelul rețelei HVN, sunt de fapt pierderi prin efect Joule-Lenz pe cablurile care distribuie energia la nivelul echipamentelor alimentate la 400V DC. Având în vedere că lungimea cablurilor este mică și că acestea sunt dimensionate pentru a suporta o sarcină electrică mare (sarcina ce trebuie suportată este egală cu puterea motorului de tracțiune) s-a luat în considerare că pierderile la nivelul HVN $\Delta P_{HVN}(t)$ vor fi egale cu 0,5% din $P_{HVN}(t)$.

$$\Delta P_{HVN}(t) = P_{HVN}(t) \cdot \eta_{HVN} = P_{HVN}(t) \cdot 0,995; \quad 4.11$$

După cum se poate vedea în Figura 4.4 puterea auxiliară este de fapt o sumă a puterilor consumate de echipamentele alimentate la JT $P_{LVN}(t)$ și pierderile de putere la nivelul DCDC $\Delta P_{DCDC}(t)$ așa cum se poate vedea în relația (4.13). Având în vedere că $\Delta P_{DCDC}(t)$ sunt pierderi direct dependente de nivelul puterii transferate între HVN și LVN, acestea se pot exprima sub forma ecuației (4.12). Puterea consumată în LVN la rândul ei se poate calcula folosind relația (4.14).

$$\Delta P_{DCDC}(t) = P_{AUX}(t) \cdot (1 - \eta_{DCDC}); \quad 4.12$$

$$P_{AUX}(t) = P_{LVN}(t) + \Delta P_{DCDC}(t); \quad 4.13$$

$$P_{LVN}(t) = P_{ONBC}(t) + P_{MSS}(t) + P_{COM}(t) + P_{HVAC}(t) + P_{AUXBMS}(t) + P_{AUXEPWT}(t); \quad 4.14$$

Dacă se analizează mai în detaliu se poate vedea că consumatorii alimentați din LVN intră de fapt în 2 categorii:

1. Echipamente de comandă și control (ECU).
2. Echipamente de putere.

Din cauză că există numeroși furnizori de calculatoare iar consumul de putere al acestora depinde de complexitatea procesului controlat. Pentru simplificarea calculului se presupune că fiecare ECU consumă o putere constantă de 10W, așa cum se poate vedea în relația (4.15).

$$P_{ONBC}(t) = P_{MSS}(t) = \frac{P_{COM}(t)}{2} = P_{AUXBMS}(t) = P_{AUXEPWT}(t) = P_{ECU} = 0,01kW; \quad 4.15$$

unde: P_{ECU} – puterea consumată de un ECU, în kW;

Singurele precizări necesare a fi făcute asupra ecuației (4.15) sunt:

- $P_{COM}(t)$ reunește consumul de putere al DSRC și al Modemului care fiecare consumă câte 10W;
- $P_{AUXEPWT}(t) = 0,01kW$ doar dacă vehiculul se încarcă din capacitatea suplimentară de stocare E-PWT.

Din punct de vedere constructiv unitatea HVAC este compusă din 3 elemente, astfel componentele sistemului HVAC și consumul de putere ale acestora sunt:

1. Calculator de comandă și control, $P_{ECUHVAC}(t)$;
2. Pompa de circulație $P_{PC}(t)$;
3. Pompa de căldură $P_{HP}(t)$.

Ecuția de bilanț de puteri a unității HVAC este:

$$P_{HVAC}(t) = P_{ECUHVAC}(t) + P_{PC}(t) + P_{HP}(t); \quad 4.16$$

În timpul încărcării din RDJT a VE, pompa de circulație este activată și dezactivată în funcție de mai mulți factori ca: temperatura echipamentelor de pe mașină, temperatura fluidului de răcire, temperatura exterioară, tipul de încărcare a VE și alți factori. Pentru simplificarea calcului se consideră că pompa de circulație funcționează constant cu un consum egal cu $P_{PC}(t) = 50W$.

Următoarele echipamente de pe mașină necesită răcire: HVB, DCDC și ONBC. Consumul de putere al se calculează folosind ecuația (4.17). În cazul pompei de căldură se ia în considerare un COP egal cu 5, care este o valoare ridicată având în vedere că pompele de căldură de pe VE sunt proiectate luând în seamă o multitudine de cerințe.

$$P_{HP}(t) = \frac{\Delta P_{BAT}(t) + \Delta P_{ONBC}(t) + \Delta P_{DCDC}(t)}{COP} \quad 4.17$$

unde:

COP – Coeficientul de performanță al Pompei de căldură.

Puterea efectiv stocată în HVB se extrage din ecuația (4.3), astfel:

$$P_{BAT}(t) + \Delta P_{BAT}(t) = P_{RD}(t) + P_{E-PWT}(t) - \Delta P_{ONBC}(t) - \Delta P_{HVN}(t) - P_{AUX}(t) \quad 4.18$$

Având în vedere că $\Delta P_{BAT}(t)$ este de fapt pierderea de putere din interiorul HVB, pentru calculul acestora se poate utiliza relația (4.19). Astfel, din ecuațiile (4.18) și (4.19) se extrage puterea efectiv stocată în HVB $P_{BAT}(t)$ sub forma ecuației (4.20):

$$\Delta P_{BAT}(t) = (1 - \eta_{BAT}) \cdot P_{BAT}(t) \quad 4.19$$

$$P_{BAT}(t) = \frac{P_{RD}(t) + P_{E-PWT}(t) - \Delta P_{ONBC}(t) - P_{AUX}(t)}{2 - \eta_{BAT}} \quad 4.20$$

unde: η_{BAT} – randamentul de încărcare al HVB.

Caracteristica cea mai importantă a oricărei baterii de VE care determină timpul necesar încărcării este nivelul de încărcare al acesteia $SOC(t)$. Evoluția $SOC(t)$ pentru o perioadă de timp cuprinsă în intervalul $[t1, t2]$ în care bateriei îi este furnizată o putere constantă $P_{BAT}(t)$ se face cu ajutorul ecuației (4.21).

$$SOC(t2) = SOC(t1) + \frac{W(t1, t2)}{Cap \cdot 100} = SOC(t1) + \frac{(P_{RD}(t) - P_C(t) - \Delta P_R(t)) \cdot (t2 - t1)}{Cap \cdot 100} \quad 4.21$$

unde:

$SOC(t1)$ – Nivelul de încărcare al HVB la momentul $t1$, măsurat în %.

$SOC(t2)$ – Nivelul de încărcare al HVB la momentul $t2$, măsurat în %.

$W(t2,t1)$ – Cantitatea de energie stocată în HVB în perioada $[t1,t2]$, măsurată în kWh.

Cap – Capacitatea nominală de stocare a HVB, măsurată în kWh.

4.2.4 Modelul matematic simplificat al unui VE real

După cum se poate vedea, volumul de calcule ce trebuie efectuate pentru a modela un VE real, este foarte mare. În această stare, vehiculul este activ, consumând energie fără a se încărca efectiv, utilizând modul Zero Ampere Mode (ZAM) dezvoltat de producători.

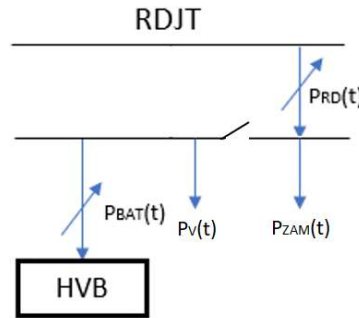


Figura 4.5 Schema echivalentă a modelului matematic simplificat al unui VE real.

Utilizările principale ale ZAM includ:

1. Diagnosticile vehiculului;
2. Monitorizarea stării HVB când (SOC=100%);
3. Pregătirea mașinii pentru funcționare;
4. Precondiționare habitaculului, etc.

Prezenta lucrare introduce un nou model matematic denumit model simplificat al unui VE real, a cărui schemă echivalentă se poate vizualiza în Figura 4.5. Pe baza Figurii 4.5 se poate scrie ecuația de bilanț de puteri instantanee (4.22).

$$P_{RD}(t) = \begin{cases} P_{ZAM}(t), & \text{VE așteaptă lansarea încărcării} \\ P_{BAT}(t) + P_V(t) + P_{ZAM}(t), & \text{VE se încarcă efectiv} \end{cases} \quad 4.22$$

unde:

$P_{ZAM}(t)$ – Consumul propriu de putere în ZAM;

$P_V(t)$ – Consumul variabil ce apare odată cu încărcarea efectivă a HVB.

$P_{ZAM}(t)$ se poate determina relativ ușor. După cum a fost menționat mai sus în acest regim practic sunt alimentate ECU. Astfel,

$$P_{ZAM}(t) = N \cdot P_{ECU} \quad 4.23$$

unde:

N – Numărul de ECU alimentate în ZAM;

P_{ECU} – Consumul de putere a unui ECU.

$P_V(t)$ la rândul său acoperă pierderile variabile la nivelul VE atunci când acesta se încarcă, astfel determinarea acestuia se poate face folosind o ecuație de forma (4.24).

$$P_V(t) = (\eta_G \cdot (P_{RD}(t) - P_{ZAM}(t))) \quad 4.24$$

unde:

η_G – Randamentul general al procesului de încărcare.

4.3 Studiu de caz: Managementul unei parări de VE în contextul organizării unei micro-piețe de energie electrică

În opinia autorului prezentei teze, integrarea VE ca și consumatori trebuie să se facă în 3 situații, care coincid cu perioade în care VE sunt staționare:

1. Când mașinile sunt parcate acasă, de obicei peste noapte.
2. Când mașinile sunt parcate la locul de muncă al proprietarului.
3. Când mașinile sunt parcate în locuri unde proprietarii desfășoară alte activități consumatoare de timp (spre exemplu mall-uri, cumpărături, urmărirea unui film la cinema și altele).

Pentru a vedea care sunt beneficiile integrării VE în situațiile de la punctele 2 și 3, au fost întocmite studiile [31], [32].

4.3.1 Definirea problemei

Prezentul studiu de caz modelează o parcare destinată exclusiv VE de 1000 de locuri care deservește un mall și un spațiu de birouri. Se presupune că toți cei 3 actori (mall-ul, parcare și spațiul de birouri) împreună sunt suficient de mari încât aceștia să participe pe piața de energie națională și cumpără energia necesară de pe această piață. La nivelul mall-ului și a clădirii de birouri se pot face estimări de consum sub forma unor curbe de sarcină, dar bineînțeles acestea au un grad scăzut de precizie din cauză că se modelează un singur consumator. Toți cei 3 actori sunt interesați să evite participarea pe piața de echilibrare din cauza lipsei de predictibilitate și a volatilității ridicate a prețurilor, moment în care o parcare de 1000 de VE poate fi extrem de utilă. Utilizarea VE în regim V2G se lovește în principal de 2 piedici:

1. Beneficiul oferit proprietarului trebuie să fie suficient de mare încât să compenseze toate efectele negative pe care funcționare în regim V2G le poate avea asupra mașinii.
2. Utilizarea VE în regim V2G nu trebuie să influențeze disponibilitatea mașinii.

Având în vedere prima condiție prezentul studiu de caz investighează dacă o relație de tip piață de energie organizată la nivelul unei parări (micro-piață), poate fi o soluție comercială viabilă pentru a stabili prioritatea la încărcare a VE, dacă în momentul plecării VE sunt încărcate la nivelul dorit și dacă această relație ar permite vânzarea energiei în dezechilibru pe micro-piață.

4.3.2 Rezultate:

Modelul pieței PMU și DR au fost implementate în Matlab; rezultatele simulărilor se pot vizualiza mai jos. În intervalul de 16 ore simulate între 07:00 și 23:00, parcare a fost accesată de 3556 de VE, fiecare rămânând staționat timp de cel puțin două ore. Pe durata simulării, veniturile totale provenite din încărcarea VE au însumat 6,698.3 Lei, în timp ce costurile, de achiziție a energiei au totalizat 6,909 Lei. Parcare

obține, de asemenea, venituri din piața DR în sumă de 1,757 Lei, profitul total ajungând la 1,543.3 Lei. Este important de menționat că aceste profituri analizate se referă doar la tranzacțiile cu energia propriu-zise.

Din Figura 4.6 unde sunt prezentate prețurile PIP, se poate observa că operatorul parcarii vinde energia pe PMU (doar mașinilor) doar cu prețuri pozitive. Cu toate acestea, în momentele de timp $t= 66, 73, 74, 75, 91, 92, 93$ și 94 sumele totale facturate către VE iau valori negative. Aceasta se datorează în principal faptului că o jumătate din beneficiile pe care operatorul parcarii le obține din piața DR sunt cedate către VE. Se poate observa că în acele momente de timp conform Figura 4.6, PIP este foarte ridicat fapt care înseamnă că VE de fapt funcționează în regim V2G, fapt care este confirmat de Figura 4.7, unde sunt prezentate numărul de VE funcționând în V2G.

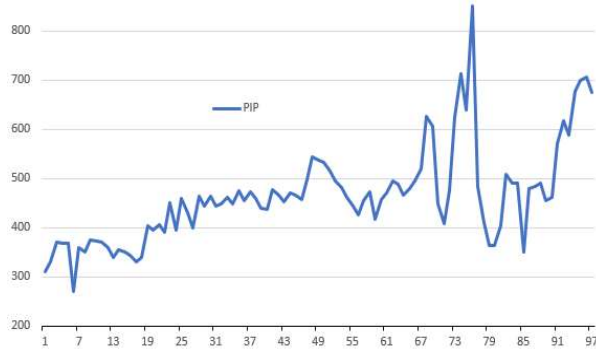


Figura 4.6 Evoluția PIP pe micro-piață

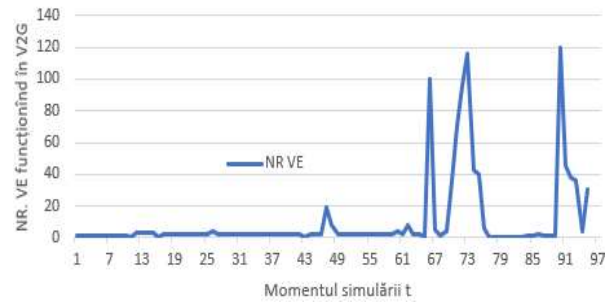


Figura 4.7 Număr VE funcționând în regim V2G

Vârfurile din Figura 4.7 corespund momentelor în care prețul marginal pe micro-piață este ridicat. Totuși, numărul de VE care vând energie pe micro-piață nu depășește niciodată 120, comparativ cu totalul de 1000 de locuri de parcare.

4.3.3 Concluzii

Introducerea unei relații de piață este o metodă foarte bună pentru a reduce costurile cu energia electrică pentru VE, și în același timp a aduce profituri suplimentare operatorului parcarii.

Prin introducerea acestui concept, operatorul poate reduce costul energiei electrice pentru VE, prin oferirea de acces la piețe unde energia electrică se poate vinde la prețuri mai mari, permițând mașinilor să vândă energie și să facă profit din tranzacțiile cu energia.

4.4 Studiu de caz: Analiza eficienței încărcării și regimului V2G pentru VE, PHEV și FCEV

Prezentul studiu, își propune să analizeze eficiența energetică în timpul încărcării și a funcționării în V2G a VE, PHEV și FCEV, și este unul similar cu [33]. Având în vedere scopul prezentului studiu și anume determinarea eficienței în timpul încărcării unui VE, trebuie precizat că $P_{BAT}(t)$ este de fapt puterea utilă și puterea totală consumată pentru încărcare este $P_{RD}(t)$ sau $P_{E-PWT}(t)$. Astfel, randamentul de încărcarea a unui VE și randamentul în regim V2G se pot calcula utilizând relațiile (4.25), respectiv (4.26).

$$\eta_{VE} = \frac{P_{BAT}(t)}{P_{RD}(t) + P_{E-PWT}(t)} \quad 4.25$$

$$\eta_{V2G} = \frac{P_{RD}(t) + P_{BAT}(t)}{P_{E-PWT}(t)} \quad 4.26$$

Determinarea randamentului global de încărcare a unui VE, necesită inițial determinarea randamentelor fiecărui echipament în parte. Pentru a evidenția importanța eficienței energetice la încărcarea VE dar și în regim V2G, s-a decis că se va calcula eficiența energetică a unui VE ipotetic construit din cele mai performante (din punctul de vedere al eficienței) componente documentate. În cele ce urmează se prezintă pe scurt eficiența energetică a fiecărei componente și scurte considerații :

η_{ONBC} – În [34], este analizat un ONBC pentru BMW. În această lucrare, vom lua în considerare eficiența maximă de 95%.

η_{DCDC} – În [35], este propusă o nouă diagramă pentru convertorul DC/DC, împreună cu un nou algoritm de control. Cea mai mare eficiență a sistemului DC/DC rezultată este de 93,2%. Deoarece condițiile ideale sunt greu de îndeplinit, vom lua în considerare un factor de eficiență DC/DC de 92%.

η_{BAT} – În [34], în această lucrare vom lua în considerare un factor de pierdere a energiei în HVB de 1% în scenariul de încărcare Tip1 și 2, și de 2% în scenariul de încărcare Tip 3 și 4.

Pentru evaluarea eficienței energetice de încărcare a VE, PHEV și FCEV și funcționarea în regim V2G pentru toate situațiile trebuie luate în calcul următoarele scenarii de funcționare:

1. Un VE se încarcă folosind ONBC, situație în care arhitectura tuturor celor 3 tipuri de vehicule este aceeași, utilizând încărcătoare de tip 1, 2 și 3. În această situație $P_{E-PWT}(t)=0$.
2. Un VE se încarcă folosind OFBC, folosind încărcare de Tip 4.
3. Un VE în regim V2G.
4. Încărcarea și V2G în cazul PHEV
5. Încărcare și V2G în cazul FCEV

4.4.1 Eficiența Round-trip

Atunci când se discută despre eficiența energetică a capacităților de stocare a energiei, în literatura de specialitate s-a înrădăcinat termenul RTE, care este de fapt acronimul de la Round-Trip Efficiency. Având în vedere că mai sus au fost prezentate eficiențele energetice ale proceselor de încărcare ale mașinilor precum și eficiențele de funcționare în regim V2G, în prezentul studiu pentru calculul RTE în cazul VE se utilizează relația (4.27).

$$RTE = \eta_{inc} \cdot \eta_{V2G} \cdot 100 \quad 4.27$$

unde:

η_{inc} – Randamentul procesului de încărcare, în valoare absolută

η_{V2G} – Randamentul funcționării în V2G, în valoare absolută

Când vine vorba de RTE pentru mașini de tip PHEV și FCEV sursa primară utilizată pentru producția energiei este combustibilul din rezervor; astfel, pentru aceste mașini RTE va fi considerat a fi egal cu eficiența regimurilor V2G.

Eficiența energetică RTE de funcționare în regim de capacitate de stocare a tuturor tipurilor de vehicule se poate vizualiza în Tabelul 4.1.

Se poate vedea ușor că scenariile cu cea mai ridicată eficiență sunt scenariile în care un VE se încarcă de la un OFBC. Acest fapt era și de așteptat având în vedere că eficiența energetică la încărcarea VE de la

un OFBC Tip 4 este cea mai ridicată. Pe de altă parte, cele mai ineficiente scenarii sunt cele în care este consumat un combustibil fosil în cazul PHEV-urilor sau Hidrogen pentru FCEV.

Tabelul 4.1 RTE la funcționarea în V2G

Scenariu	RTE [%]	Scenariu	RTE [%]
1.a.1	77.44	2.d.3	96.11
1.a.2	80.28	2.d.4	96.35
1.a.3	81.72	2.d.5	96.37
1.b.1	82.81	3.a.1	40.06
1.c.1	83.54	3.a.2	39.98
1.c.2	83.91	4.a.1	66.56
2.d.1	95.45	4.a.2	65.97
2.d.2	95.96		

4.4.2 Concluzii

După cum se poate vedea, eficiența energetică este unul dintre impedimentele care pot sta în calea implementării regimului V2G la scară largă. Funcționarea în regim V2G în cazul vehiculelor cu propulsie electrificată presupune pierderi de energie care trebuie suportate de o entitate.

Toți posesorii de mașini, ar dori accesul la energie electrică ieftină (care se poate obține din regimul V2G); dar aceștia privesc cu reticență acest regim din cauza potențialelor probleme pe care le pot întâmpina din cauza îmbătrânirii HVB. Pe de o parte, [36] arată că dacă nu se construiește un grad ridicat de încredere între posesorii VE și agregatori (care trebuie să garanteze un nivel de încărcare), implementarea regimului V2G poate deveni un obstacol în adoptarea VE.

Nivelul scăzut al RTE ridică de asemenea îngrijorări privind atingerea scopului adoptării VE. Astfel, mulți dintre posesorii actuali de VE sunt persoane îngrijorate de schimbările climatice și doresc să își reducă amprenta de emisii a GES. După cum arată studiile, reducerea GES în cazul VE se poate atinge doar dacă energia consumată de acestea provine din surse regenerabile.

4.5 Studiu de caz: Analiza viabilității comerciale a regimului V2G pentru VE, PHEV și FCEV.

Pentru a stabili dacă funcționarea VE, FCEV și a PHEV în regim V2G este o modalitate viabilă din punct de vedere economic, în opinia autorului trebuie stabilit inițial un tarif cu care acest tip de mașini vor putea participa la o piață de energie. În prezenta lucrare se propune o metodologie de calcul de tipul cost minim marginal cu energia pentru funcționarea în regim V2G [33].

4.5.1 Metodologie de calcul

Pentru a calcula tarifele la care mașinile pot injecta energie în RDJT, s-a ales metoda prețului minim economic (MEP). MEP este tariful cu energia la care un VE funcționând în regim V2G, nu produce pierderi economice proprietarului. Astfel, MEP este definit în prezentul studiu ca fiind suma a 2 componente de natură energetică și 2 componente comerciale, după cum se poate vedea în relația (4.38):

$$MEP = E(VE) + C(VE) + BAC + EBC \quad 4.28$$

unde:

- $E(VE)$ – Componenta MEP , ce rezultă din costurile cu energia consumată pentru încărcarea VE.
- $C(VE)$ – Componenta MEP , ce rezultă din costurile cu combustibilul în cazul PHEV și FCEV
- BAC – Battery Access Cost, componenta MEP care reprezintă costul îmbătrânirii HVB;
- EBC – Empty Battery Cost, componenta MEP care trebuie să acopere riscul că mașina nu poate fi utilizată din cauza funcționării în regim V2G.
- VE – O variabilă de tip boolean, care este egală cu 1 dacă mașina funcționează în regim VE, și 0 dacă mașina este un PHEV sau FCEV.

Tariful $E(VE)$ în calculul MEP , se aplică doar în situația în care energia electrică injectată în RDJT este energia care a fost consumată anterior din rețea. Astfel, pentru calculul tarifului $E(VE)$ la care un VE este capabil să injecteze un kWh în RDJT față de tariful X cu care VE a achiziționat energia, se va utiliza relația (4.29). Având în vedere instabilitatea din piețele de energie generată de situația geopolitică actuală, s-a luat decizia ca analiza MEP să se facă pentru 3 tarife de achiziție a energiei electrice și anume: 0,05 \$/kWh, 0,1 \$/kWh și 0,2 \$/kWh.

$$E(VE) = \begin{cases} \frac{X}{RTE} \cdot 100, & \text{când } VE = 1 \\ 0, & \text{când } VE = 0 \end{cases} \quad 4.29$$

În cazul FCEV și PHEV, pierderile de energie la nivelul vehiculelor sunt de asemenea suportate de către proprietari. Pentru a calcula cantitatea de combustibil consumată în regim V2G, astfel: puterea calorică a combustibililor fosili utilizați în mașini este de 43 MJ/kg conform [37] și cea a unui kilogram de hidrogen este 120MJ/kg [38]. Având în vedere că prețul final conține multiple taxe și accize care diferă de la o țară la alta, s-au ales următoarele scenarii de preț pentru produsele petroliere: 0,5 €/l, 1,5 €/l și 2,5 €/l.

$$C = \frac{Q_C \cdot T_C}{W} = \frac{Q_C \cdot T_C}{(P_{BAT} + P_{RD}) \cdot t} \quad 4.30$$

unde:

- Q_C – Cantitatea de combustibil consumată, în kg
- W – Cantitatea de energie electrică produsă, în kWh
- T_C – Tariful de achiziție a combustibilului, €/kg
- t – Timpul de funcționare în regim V2G, în h

4.5.2 Costul BAC

Acronimul BAC, vine de la Battery Acces Cost, și se referă la costul îmbătrânirii accelerate a HVB atunci când VE funcționează în regim V2G. Pentru a estima acest cost, se ia în considerare în primul rând costul celulelor. În ultima perioadă, producția industrială de celule Li-ion HVB a crescut, ceea ce a dus la reducerea costurilor pentru producția acestora. Costul celulelor Li-ion în zilele noastre este de aproximativ 153 \$/kWh, conform [39]. După cum se poate deduce din relația (4.31) costul BAC depinde de cantitatea de energie care este extrasă din HVB.

$$BAC = \frac{0.04}{W} = \frac{0.04}{P_{BAT} \cdot t} \quad 4.31$$

Acronimul EBC vine de la Empty Battery Cost și se referă la costul suportat de proprietarul VE, care a rămas cu HVB descărcată sub un nivel minim de SOC care i-ar permite să ajungă la destinație.. Se va

considera costul deplasării cu un taxi egal cu 0,5 \$/km, și o frecvență de apariție a evenimentului de 2 ori/an. În concluzie, dacă vehiculul este utilizat zilnic în regim V2G, OD ar trebui să acopere costul mediu de aproximativ 41 \$/an, sau 0,11 \$/zi, calculat folosind (4.32).

$$EBC = \frac{taxi \cdot d \cdot NO}{365} = \frac{0,5 \cdot 41 \cdot 2}{365} \quad 4.32$$

unde:

taxi – Tarif practicat de companiile de taxi
d – Distanța călătorită
NO – Frecvența apariției EBC

4.5.3 Analiză numerică

După cum se poate vedea în subcapitolele anterioare, MEP în regim V2G depinde de următoarele 3 variabile:

1. Costul cu energia primară consumată, care în cazul VE este energia consumată din RDJT, și în cazul PHEV și FCEV este combustibilul consumat din rezervor.
2. Cantitatea de energie livrată către RDJT.
3. Eficiența RTE.

Pentru a putea trage niște concluzii cu privire la viabilitatea funcționării în regim V2G se preferă o analiză numerică. Dintre scenariile prezentate anterior s-au ales următoarele:

- 1.a.1 – scenariul cu RTE minim, reprezentativ pentru regimul V2G într-o RDJT rezidențială;
- 1.b.1 – scenariul cu RTE maxim, reprezentativ pentru regimul V2G într-o RDJT rezidențială;
- 1.c.2 – scenariul cu RTE maxim, cu încărcătoare ce furnizează energia în AC;
- 2.d.5 – scenariul cu RTE maxim la încărcarea din rețele publice, cu încărcătoare în DC;
- 3.a.1 – scenariul cu RTE maxim în cazul PHEV;
- 4.a.1 – scenariul cu RTE maxim FCEV.

Prețurile MEP care rezultă în scenariile și conform metodologiei prezentate mai sus, se pot vizualiza în Tabelul 4.2. Pentru a ușura citirea tabelului, costurile cu combustibilii fosili, cel al hidrogenului, MEP și EBC au fost exprimate în €/kWh. Influența costurilor BAC și EBC se poate vedea clar din Tabelul 4.2. În toate scenariile se observă că, odată cu creșterea cantității energiei tranzacționate zilnic, tariful MEP scade. Acest lucru se datorează faptului că EBC este un cost fix zilnic dar și faptului că BAC așa cum acesta a fost definit în relația (4.29) este invers proporțional cu energia tranzacționată.

Influența costurilor BAC și EBC asupra MEP este de asemenea descrescătoare odată cu creșterea prețurilor de achiziție a energiei. Acest lucru este unul favorabil funcționării în regim V2G, în sensul că în situațiile de criză tehnică sau economică, când la nivel local prețurile cu energia sunt ridicate, VE pot interveni și ameliora impactul situației respective. În cazul vehiculelor PHEV și FCEV funcționare în regim V2G este nefezabilă din punct de vedere comercial. Singura soluție comercial viabilă de funcționare în regim V2G este utilizarea vehiculelor PHEV și FCEV ca și cum acestea ar fi VE.

După cum se poate vedea, tarifele de achiziție al combustibililor în cazul PHEV și FCEV sunt mult mai ridicate față de tarifele de achiziție a energiei electrice în cazul VE. Astfel, dacă prețul de 0,5 €/l la pompă nu a fost înregistrat în UE din 2005 încoace, când vine vorba de tarife la energia electrică prețul de

5 [€/kWh] se poate întâlni până și în condițiile actuale de criză energetică. Astfel, funcționarea în regim V2G în cazul PHEV și FCEV nu este viabilă din punct de vedere comercial în majoritatea situațiilor.

Tabelul 4.2 MEP rezultat

Tip Vehicul	Scenariu	Pret de achiziție energie [€/kWh]	Energie zilnică tranzacționată				Comentariu
			5 kWh	10 kWh	20 kWh	30 kWh	
			MEP [€/kWh]				
VE	1.a.1	5.00	9.46	7.96	7.21	6.96	
		10.00	15.91	14.41	13.66	13.41	
		20.00	28.83	27.33	26.58	26.33	
	1.b1	5.00	9.04	7.54	6.79	6.54	
		10.00	15.08	13.58	12.83	12.58	
		20.00	27.15	25.65	24.90	24.65	
	1.c.2	5.00	8.96	7.46	6.71	6.46	
		10.00	14.92	13.42	12.67	12.42	
		20.00	26.84	25.34	24.59	24.34	
	2.d.5	5.00	8.19	6.69	5.94	5.69	
		10.00	13.38	11.88	11.13	10.88	
		20.00	23.75	22.25	21.50	21.25	
PHEV	3.a.1	5.53	16.79	15.29	14.54	14.29	0.5 €/l
		16.74	44.80	43.30	42.55	42.30	1.5 €/l
		27.63	71.97	70.47	69.72	69.47	2.5 €/l
FCEV	4.a.1	13.20	22.83	21.33	20.58	20.33	4.4 €/kg
		28.80	46.27	44.77	44.02	43.77	9.6 €/kg
		36.00	57.09	55.59	54.84	54.59	12 €/kg

4.5.4 Concluzii

După cum a fost menționat, funcționarea în regim V2G a tuturor tipurilor de mașini este legată direct de funcționarea pieței de energie. După cum se poate vedea, tarifele cu energia furnizată în regim V2G sunt foarte mari. În opinia autorului, funcționarea în regim V2G în cazul tuturor tipurilor de mașini este practic nefezabilă din punct de vedere comercial, însă regimul V2G poate fi extrem de util în situații critice.

Cei mai importanți factori care influențează viabilitatea funcționării în regim V2G a tuturor vehiculelor cu propulsie electrificată sunt:

1. Eficiența RTE;
2. Costurile de achiziție a energiei electrice;
3. Costurile de achiziție a combustibililor și a hidrogenului.

Planul UE pentru reducerea dependenței strategice și economice față de toți combustibilii fosili este axat pe avantajarea investițiilor în surse regenerabile pe de o parte, și creșterea numărului de VE pe de alta. În opinia autorului, la nivelul UE trebuie avantajată și dezvoltarea tehnologică a încărcării VE, pentru ca acestea să poată aplatiza fenomenul de “duck-curve” dar și o intervenție legislativă, astfel ca VE să fie răsplătite pentru această intervenție.

CAPITOL 5 Limitarea impactului produs de încărcarea VE

5.1 Optimizarea infrastructurii de încărcare

Un aspect crucial în limitarea impactului produs de încărcarea VE asupra rețelelor electrice este dezvoltarea și optimizarea infrastructurii de încărcare, în contextul utilizării VE.

Studiul [40] ia în considerare comportamentul șoferilor în utilizarea mașinilor și simulează sarcinile electrice în contextul adopției crescânde a VE împreună cu producția de energie rezultată din integrarea surselor DG fotovoltaice și investighează strategiile de reducere a impactului asupra rețelelor electrice, care să nu necesite schimbarea comportamentului de călătorie sau tehnologii avansate. Simulările confirmă apariția problemelor la nivelul rețelelor electrice: creșterea consumului de energie în perioada de vârf de seară provocată de consumul suplimentar al VE și apariția unui surplus de energie în timpul zilei produs de instalațiile fotovoltaice. Lucrarea subliniază pe de o parte importanța accelerării adopției VE având în vedere avântul în instalarea de noi capacități fotovoltaice; pe de altă parte este evidențiată eficiența încărcării la locul de muncă. E clar că sistemele inteligente de încărcare a VE ar reduce efectele negative și ar spori posibilitatea de integrare a VE în SEE. Tuturor actorilor din domeniul energetic le este clar că controlul încărcării se poate efectua prin oferirea de stimulente posesorilor de VE [41].

5.2 Limitarea impactului încărcării VE în RD

După cum a fost prezentat, odată cu creșterea adopției VE sistemele electroenergetice vor trebui să se adapteze la schimbări majore din punct de vedere tehnic precum și din punct de vedere financiar. Îngrijorările ridicate de specialiștii din domeniul energetic se pot rezolva parțial dacă încărcarea VE este controlată. Algoritmi de control a încărcării VE au fost propuși pentru a optimiza diverse aspecte cu impact negativ asupra sectorului energetic, putând menționa dintre aceștia soluțiile pentru următoarele probleme:

- reducerea emisiilor de GES [42], [43], [44];
- reducerea pierderilor de energie în rețele [45];
- încărcarea VE folosind tarife ToU [46], [41].

Minimizarea efectelor negative generate de creșterea adopției VE asupra RD de medie și joasă tensiune se concentrează pe implementarea încărcării inteligente [47]. Prin aplicarea principiilor de smart charging, se pot ameliora multiple efecte negative, iar uneori acestea pot fi chiar transformate în avantaje financiare pentru posesorii de VE. Deși efectele negative sunt evidente, un sistem unic de încărcare inteligentă, accesibil tuturor, întârzie să apară și nu este încă disponibil. În opinia autorului, întârzierea în implementarea unui sistem unic de încărcare inteligentă se datorează în principal unei abordări neunitare.

5.3 Studiu de caz: Managementul încărcării VE în RDJT.

5.3.1 Definirea problemei.

Prezentul studiu de caz își propune să studieze impactul încărcării VE asupra RD rezidențiale și beneficiile ce sunt aduse de metode de management a încărcării VE. În prezentul studiu de caz sunt analizate două metode de management și anume:

1. Echilibrarea consumului din RD prin conectarea VE pe fazele descărcate.

2. Aplicarea principiilor ToU, pentru amânarea procesului de încărcare.

5.3.2 Descrierea RD.

Pentru simulare s-a considerat rețeaua test IEEE cu 37 de noduri, a cărei topologie este bine cunoscută. Rețeaua test selectată respectă următoarele ipoteze:

1. Rețeaua test operează la standardul european de JT, 400/230 V. Transformatorul din nodul 799 a fost eliminat, iar nodul 799 este considerat borna de JT a transformatorului MT/JT. Nodul de echilibru a fost amplasat în nodul 799.
2. Se consideră că rețeaua test alimentează un număr total de 40 de VE. Alocarea acestora la consumatorii casnici s-a făcut aleatoriu și se poate vizualiza în Tabelul 5.1. Consumatorii casnici cărora le-a fost alocat un VE sunt marcați cu litera “e”.

Tabelul 5.1 Alocarea gospodăriilor și a VE pe noduri

Nod	Număr sarcini	Tip sarcină	Nod	Număr sarcini	Tip sarcină
701	2	2e,3e	725	3	2e,2,3
702	2	2,2	727	3	2,2e,3
703	3	2,4,2	728	3	2,3,3
704	0	0	729	3	2,5e,3e
705	2	3e,1	730	2	3e,1e
706	3	2,3e,2	731	3	2e,3e,4e
707	2	3,2	732	3	2e,4,3
708	2	2e,5e	733	1	1
709	1	3	734	2	2e,4
710	1	3	735	3	2e,3e,4
711	3	4,2,5e	736	4	5e,2,2,3
712	3	1e,3e,3	737	2	1e,4
713	3	2e,3e,2e	738	1	2e, e
714	2	2,4	740	2	1e,3
718	3	3e,4e,2	741	3	3e,3e,4
720	1	2	742	2	1e,2e
722	2	2e,2	744	2	2,3
724	3	5e,3e,2	775	3	3e,2,4

3. Toate caracteristicile necesare modelării VE sunt prezentate în Tabelul 5.2. Pentru a se putea face o comparație între metodele de management energetic a încărcării VE propuse în prezenta teză, toate caracteristicile VE sunt considerate identice.
4. VE modelate în prezenta lucrare sunt mașini utilizate exclusiv pentru deplasare la serviciu și înapoi. Momentele de timp în care VE sosesc (T_{arr}) și pleacă (T_{dep}) au fost generate aleatoriu în intervalele [16:00, 18:00] și [7:00, 9:30].
5. Capacitățile de stocare ale bateriilor VE au fost generate aleatoriu în intervalul cuprins între 16 kWh și 80 kWh. Pentru a calcula puterea maximă cu care unul dintre VE se poate încărca s-a ținut cont de capacitatea totală a HVB. Astfel, s-a presupus că orice VE se poate încărca de la 0% SOC la 100% într-o perioadă de cel mult 8 ore, valoarea astfel rezultată este rotunjită în sus la un număr întreg.
6. Conform normativelor aplicabile RDJT din România, orice bransament pentru care puterea aprobată depășește valoarea de 9 kW se execută în construcție trifazată. Aceeași logică s-a aplicat și în cazul încărcării VE: dacă puterea maximă (calculată conform punctului 11 de mai sus) cu care se poate încărca VE depășește 9 kW VE, încărcătorul se consideră de tip trifazat, respectiv de tip monofazat în caz contrar.

Tabelul 5.2 Caracteristici VE

EV no.	Capacitate HVB	T _{arr}	T _{dep}	SOC init	SOC DES	Necesar energie	ONBC rated Power	Faza	X	Y	Nod	Călătorie suplimentară		
												T _{depint}	T _{arrint}	ΔSOC
												ora	ora	[%]
	[kWh]	ora	Ora	[%]	[%]	[kWh]	[kW]							
1	68	17:10	8:30	73	91	12.33	9	B	48.5	83.6	722			
2	24	17:30	9:00	71	93	5.35	3	A	3.4	139.3	724	20:30	01:00	10.41
3	56	16:10	7:10	74	89	8.18	8	A	105.8	132.3	706	19:00	03:30	4.91
4	34	17:50	7:20	62	88	8.84	4	A	163.1	89.4	718			
5	77	16:00	7:50	73	92	14.66	11	3-ph	203.5	38.8	731	22:40	03:40	5.84
6	26	16:40	8:20	83	91	2.1	3	A	99.3	22	713	02:50	04:20	10.57
7	77	16:30	8:40	83	90	5.11	11	3-ph	186.3	46.8	731	19:10	21:00	3.9
8	67	16:50	7:10	59	92	21.89	9	C	306.3	67.4	741	23:30	23:50	7.09
9	43	16:20	9:10	76	89	5.48	6	A	311	91.2	741			
10	67	16:10	8:10	62	94	21.57	9	C	264.3	55.1	740			
11	58	16:00	9:00	80	87	3.59	8	C	302.3	-63.7	735	23:10	02:20	8.62
12	70	16:10	8:00	46	90	30.57	10	3-ph	332.9	-63.6	735	01:30	02:00	3.93
13	59	16:50	9:30	78	91	7.67	8	A	139.5	-134.8	729	03:20	04:20	5.08
14	64	16:20	7:20	84	88	2.7	9	C	70.5	-61.2	742	22:20	22:30	1.95
15	58	17:10	7:20	58	92	19.66	8	A	26.7	-51.6	712	21:40	02:10	2.59
16	61	16:40	8:20	58	93	21.39	8	B	306.8	-16.4	738			
17	34	16:30	7:20	85	91	1.89	4	A	301.2	1.6	738	19:40	20:00	11.76
18	22	16:50	7:10	84	88	0.89	3	B	257.8	-8.8	775	00:20	00:40	10.23
19	60	17:00	8:20	40	92	31	8	C	197.5	-48.5	708			
20	77	16:40	7:20	72	90	14.3	11	3-ph	73.3	-41.8	705			
21	44	16:30	8:00	64	87	10.12	6	A	58.9	2.8	701	12:10	12:30	3.98
22	65	17:50	9:30	90	91	1.04	9	A	154.6	5.4	730	22:30	03:20	6.54
23	28	16:30	8:00	84	91	2.09	4	C	170	8.6	730	21:10	21:20	9.83
24	45	16:10	7:30	86	95	3.98	6	C	134.6	-53.9	727			
25	61	17:20	8:10	57	88	18.45	8	C	200.9	-40.2	708			
26	34	17:30	7:30	72	86	4.62	4	B	266.1	-41.7	734	01:20	04:20	8.82
27	58	16:40	8:40	79	93	7.64	8	B	42.2	-21.8	712	00:10	03:30	3.88
28	24	17:50	9:00	84	95	2.63	3	A	120.5	-117.7	729	01:20	02:10	15.63
29	77	16:50	7:50	79	95	11.92	11	3-ph	205.9	47.3	731			
30	53	17:40	9:10	70	89	9.58	7	A	65.2	59	713	02:50	04:30	5.19
31	64	17:40	8:30	67	86	11.93	9	B	228.4	-64	736			
32	48	17:50	8:30	73	93	9.59	6	A	318	-24.8	737			
33	73	16:20	7:50	66	91	17.88	10	3-ph	333.1	27.4	711			
34	51	17:40	7:30	79	89	5.17	7	A	63.6	-78.1	742	01:00	04:20	2.45
35	26	16:30	8:10	86	90	1.09	3	C	204.5	-72.4	732	03:00	03:20	15.38
36	70	16:50	7:30	71	88	12.23	10	3-ph	9.5	125.7	724			
37	68	16:50	7:20	40	94	36.3	9	B	61.1	39.5	713			
38	75	17:10	7:40	78	86	5.89	10	3-ph	144.4	74.2	718	23:40	01:30	4.00
39	29	16:30	7:20	65	93	7.97	4	B	166.7	133.9	725	00:00	02:00	14.66
40	55	16:50	8:20	80	88	4.23	7	B	42.1	16.1	701	01:50	04:40	7.27

7. După cum se poate vedea, toate VE modelate sunt caracterizate de SOC_{INIT} și SOC_{DES} care sunt măsurate în %, acestea reprezentând de fapt nivelul SOC în momentul sosirii și un nivel minim dorit al SOC în momentul plecării. Astfel, pentru toate VE valorile SOC_{INIT} s-au generat aleatoriu în intervalul [40%,90%]. SOC_{DES} a fost calculat folosind relația (5.1):

$$SOC_{DES}(j) = \frac{SOC_{INIT}(j) \cdot CAP(j) \cdot 0,01 + d(j) \cdot CS}{CAP(j)} \cdot 100 \quad 5.1$$

unde:

j – reprezintă numărul VE;

$d(j)$ – reprezintă distanța parcursă de VE j , în km, generată aleatoriu;

CS – reprezintă consumul specific al mașinii, în kWh/km, cu valoare de 0,25 kWh/km.

8. În cadrul unui studiu care va fi prezentat ulterior se folosește un dispozitiv de comunicație numit DSRC. Acesta permite stabilirea de comunicații pe frecvențe radio cu distanțe de comunicație de până la 250 m. Pentru a modela dacă între 2 VE se poate sau nu stabili o comunicație directă este necesară evaluarea distanței între acestea. În acest scop, fiecărui VE i-au fost asignat coordonate carteziane cu punctul de origine în nodul 799.

-
-
9. Unul dintre studiile ce vor fi prezentate ulterior, analizează impactul surselor de tip DG asupra încărcării VE. Pentru a putea analiza acest impact, în nodul 730 a fost amplasată o sursă DG. Puterea acesteia este de 10 kW, cu factor de putere 1, și se consideră că aceasta injectează putere continuu dacă nu este specificat altfel.

5.3.3 Rezultate.

Studiul de caz a fost implementat în limbajul de programare a programului DigSILENT Power Factory, și rezultatele au fost publicate în [48]. Cu toate acestea, accentul principal al studiului este pus pe impactul metodelor de management a încărcării VE asupra parametrilor din RD. Din acest motiv, s-a decis ca fiecare grafic să se concentreze pe un singur parametru în toate cele 3 scenarii, pentru a facilita o analiză mai detaliată a efectelor gestionării încărcării VE asupra RD.

Evoluția puterilor consumate în toate cele 3 scenarii, pe fazele L1, L2 și L3 se pot vizualiza Figurile 5.1, 5.2 și 5.3 respectiv. Din evoluțiile puterilor se pot trage următoarele concluzii:

1. În toate cele 3 figuri, este evident când vehiculele electrice (VE) încep să se conecteze și să se deconecteze de la rețeaua de distribuție (RD). Se observă cum curbele pentru toate cele trei scenarii se suprapun între orele 12:00 și 16:00, precum și între orele 9:30 și 12:00. În aceste intervale de timp, consumul de energie electrică este influențat în principal de nevoile gospodăriilor casnice.
2. O analiză amănunțită arată că între orele 13:00 și 15:00, consumul de energie la nivelul rețelei test este extrem de redus, ajungând chiar să fie negativ pe faza L1. Acest fapt este cauzat de existența sursei de tip DG menționate în subcapitolul cu descrierea rețelei, combinat cu consumul scăzut din gospodăriile casnice.
3. În fiecare dintre cele trei scenarii, consumul de energie la nodul de echilibru este dezechilibrat. Totuși, se observă că în scenariul trei, nivelul de dezechilibru este mai redus. Aceasta indică faptul că strategia de gestionare a încărcării prezentată în scenariul trei este eficientă, chiar dacă nu se atinge un echilibru complet.. În primul scenariu, cel mai mare vârf de sarcină înregistrat este de 60 kW, dintre care 41 kW sunt consumați din faza C.
4. Analizând profilurile de consum, este clar că perioada de gol de sarcină de noapte este redusă, practic inexistentă. Acest lucru este atribuit în mare măsură încărcării VE. În particular, în al doilea scenariu, se observă o tendință de scădere a consumului până la ora 1:00, moment în care VE încep încărcarea. Odată ce începe încărcarea vehiculelor, consumul de energie crește brusc, cum este și normal, iar nivelul ridicat de consum persistă până când mașinile încep să fie utilizate pentru deplasări.
5. Prin aplicarea managementului energetic în toate cele trei scenarii s-au obținut circulații de puteri diferite în rețea, ceea ce, evident, a generat niveluri diferite de pierderi de putere și energie.
6. După cum se poate vedea, metodele de management a încărcării VE pot prezenta o soluție viabilă, pentru a menține parametrii de funcționare a rețelelor în limitele admisibile, aducând beneficii proprietarilor de VE.

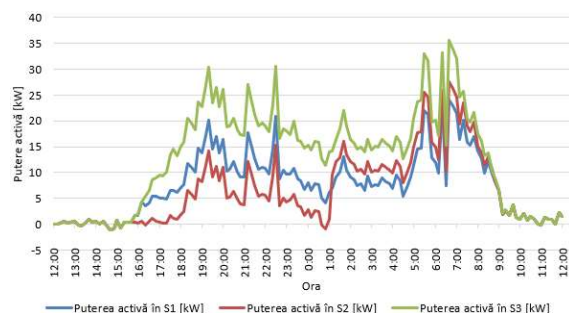


Figura 5.1 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L1 în scenariile S1, S2 și S3

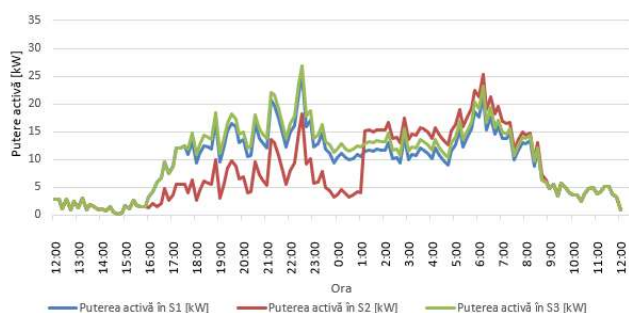


Figura 5.2 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L2 în scenariile S1, S2 și S3

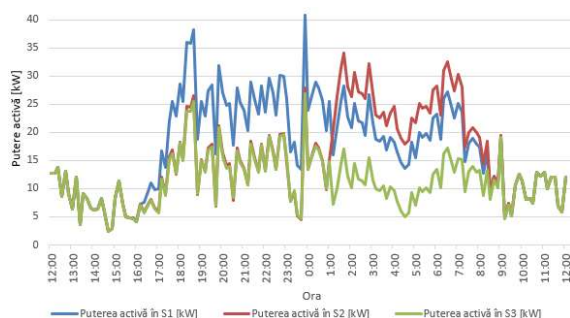


Figura 5.3 Evoluția puterii consumate din nodul de echilibru pe faza L3 în scenariile S1, S2 și S3

5.3.4 Concluzii.

În contextul creșterii consumului de energie în gospodării și al popularității crescânde a VE, se anticipează că operatorii de rețea vor întâmpina o creștere a cererii de energie. Pentru a gestiona eficient această cerere în creștere, implementarea strategiilor de management al energiei este esențială, acestea fiind soluțiile rentabile și ușor de implementat.

Un aflux semnificativ de VE ar putea dăuna RDJT dacă nu sunt adoptate practici adecvate de management al energiei în timpul procesului de încărcare. Fără aceste strategii de management, încărcarea VE ar putea amplifica natura dezechilibrată a consumului de energie, ducând la pierderi mai mari de energie și probleme legate de calitatea electricității furnizate consumatorilor.

Managementul energiei permite livrarea eficientă și de înaltă calitate a energiei în RDJT, în special în acelea cu o concentrație mare de VE. Tehnologiile Smart Grid ar putea facilita tipurile de management a încărcării VE propuse în acest studiu.

Proliferarea VE schimbă modelele tipice de consum de energie, eliminând în mod notabil perioadele de gol de sarcină noaptea. Acest studiu a explorat două metode distincte de management a încărcării potrivite pentru RDJT cu numeroase VE, ambele reușind să reducă pierderile de energie și de putere.

Cu toate aceste succese, rezultatele din al treilea scenariu au indicat că metoda propusă de management al energiei, deși benefică, nu a îndeplinit așteptările noastre de reducere a pierderilor de energie. Metoda se poate rafina cu scopul de a diminua și mai mult pierderile de energie în rețea.

CAPITOL 6 Controlul încărcării VE

6.1 Formularea problemei

În opinia autorului, în viitorul apropiat se va evidenția o altă problemă legată de creșterea popularității VE. Un studiu socio-economic [16] efectuat în SUA arată că, 77% dintre VE sunt încărcate acasă, din cauză că proprietarii acestora vor să aibă acces la tarife scăzute cu energia. Odată cu numărul crescând al VE va crește substanțial cantitatea de energie care trebuie livrată în RD care alimentează consumatorii casnici, căci proprietarii VE vor dori să își încarce mașinile la tarife mai scăzute față de cele oferite la stațiile de încărcare publice.

În opinia autorului problema prezentată mai sus încă nu este vizibilă OD din cauză că:

1. Pe moment, măsurile ca încărcarea la tarif ToU, creșterea numărului de surse DG, creșterea eficienței în consumul de energie, diverse aplicații IoT pe zona de consum și optimizările făcute de OD sunt suficiente pentru a acoperi impactul încărcării VE în RD. Dar odată cu creșterea numărului de VE pe stradă această problemă nu va mai putea fi evitată.
2. VE nu mai sunt o raritate, dar în opinia autorului densitatea pe suprafață a acestora nu este încă suficient de ridicată încât acestea să provoace dificultăți în RD.

În lipsa unui algoritm avansat de control al încărcării VE metodele actuale, relativ limitate, nu vor mai putea face față. OD vor fi nevoiți să execute investiții de tip întărire RD, care nu vor fi urmate de o creștere a consumului de energie care să justifice acele investiții.

6.2 Noul sistem de control al încărcării

O propunere a unei arhitecturi de control a încărcării domestice a VE, împreună cu un algoritm de control, este cea mai importantă contribuție a acestei lucrări. De-a lungul studiilor doctorale, autorul a publicat 2 versiuni ale algoritmului de management al încărcării (AMI) în [49] și [50], ambele urmând a fi prezentate în cele ce urmează.

Arhitectura sistemului de control a încărcării VE propusă în prezenta lucrare este una de tip descentralizat care utilizează doar echipamentele existente pe VE. Pentru o înțelegere mai simplă, în cele ce urmează, se va face o echivalare între arhitectura sistemelor de control și echipamentele de la bordul VE și se vor explica sarcinile fiecărui echipament implicat în procesul de încărcare.

6.2.1 Funcția de măsură.

Singura mărime de măsurat ce intervine în sistemul de control propus este nivelul de tensiune din RDJT în unități relative, la care VE este conectat. După cum se poate vedea, singurul echipament de pe vehicul care are acces la energie în AC este charger-ul. În arhitectura sistemului de control propus, charger-ul este responsabil cu măsurarea nivelului de tensiune de la bornele sale. Astfel, dacă charger-ul fiecărui VE măsoară nivelul de tensiune din RDJT, și dacă la nivelul acestei rețele există un număr suficient de mare de VE, se poate spune că sistemul de control propus în această lucrare are acces la nivelul de tensiune din toate nodurile rețelei în care sunt amplasate VE, cu condiția ca toate VE să poată comunica între ele.

6.2.2 Sistemul de decizie.

Rolul sistemului de decizie, în arhitectura propusă este îndeplinit de MSS. MSS este singurul ECU care are acces la toate sistemele de la bordul vehiculului în sensul măsurării mărimilor necesare, dar și în sensul acționării, având acces la toate sistemele de acționare prin intermediul rețelei de comunicație de la bordul VE.

6.2.3 Sistemul de acționare

Având în vedere că prezenta teză tratează managementul încărcării domestice a VE cu scopul de a reduce impactul negativ pe care VE le pot avea asupra rețelelor electrice rezidențiale, rolul de actuator în sistemul de control propus este îndeplinit de charger. După cum se știe, un consum de putere din orice RDJT are efecte asupra regimului de funcționare a acelei rețele. Astfel, dacă charger-ul este capabil să controleze puterea consumată din RDJT, acesta controlează implicit și nivelul de tensiune din acea rețea. Dacă se presupune că în toate nodurile unei RDJT există VE care sunt conectate la acea RDJT pentru încărcare, nivelul de tensiune de-a lungul întregii rețele poate fi controlat de către VE sub anumite rezerve.

6.2.4 Funcția de comunicație

Sistemul DSRC permite stabilirea comunicației wireless între vehicule și între vehicule și sisteme din infrastructura rutieră care sunt dotate cu asemenea dispozitive. Întreaga bandă de comunicare este împărțită în șapte canale de 10 MHz fiecare; canalele sunt numerotate de la 172 la 184 folosind numai numere pare. Din punct de vedere funcțional, canalul 172 este canalul de control care este utilizat exclusiv pentru managementul rețelei de comunicație și pentru asigurarea redundanței, care este o cerință ce ține de siguranța în timpul condusului; celelalte șase canale sunt disponibile pentru servicii [51].

6.3 Algoritmul de management al încărcării - Varianta V1

6.3.1 Model matematic al algoritmului de management al încărcării, AMI V1

Coeficientul $GC_{ch}(i,t)$ este un număr real și se calculează conform ecuației (6.1)

$$GC_{ch}(i,t) = a(i,t) \cdot b(i,t) \cdot c(i,t) \cdot d(i,t) \quad 6.1$$

unde: coeficienții $a(i,t)$, $b(i,t)$, $c(i,t)$ și $d(i,t)$ - coeficienți variabili ce reprezintă condiții tehnice distincte, a căror modalitate de calcul se va prezenta în cele ce urmează; i - indicele mașinii simulate; t - momentul de timp al simulării. Pentru calculul coeficientului $a(i,t)$ se calculează inițial $P_{med}(i,t)$ folosind relația (6.2). $P_{med}(i,t)$ reprezintă puterea medie la care ar trebui să se încarce vehiculul i de-a lungul perioadei rămase de staționare, pentru ca la momentul plecării $T_{dep}(i)$, vehiculul să fie încărcat la $SOC_{des}(i)$.

$$P_{med}(i,t) = \frac{[SOC_{DES}(i) - SOC_{ACT}(i,t)] \cdot Cap(i)}{100 \cdot [T_{dep}(i) - t]} \quad 6.2$$

unde:

- $Cap(i)$ capacitatea totală de stocare a HVB pentru VE i , în kWh;
- $SOC_{ACT}(i,t)$ valoarea SOC în %, a VE i , la momentul de timp t ;
- $SOC_{DES}(i)$ valoarea minimă dorită a SOC în %, a VE i , la plecare.

Coeficientul $a(i,t)$ este o variabilă de tip boolean, care este menit să indice faptul că mașina are nevoie de încărcare la putere ridicată; acest coeficient se calculează folosind relația (6.3).

$$a(i,t) = \begin{cases} = 1, & \text{dacă } P_{MED}(i,t) < 0,95 \cdot P_{max}(i) \\ = 0, & \text{dacă } P_{MED}(i,t) \geq 0,95 \cdot P_{max}(i) \end{cases} \quad 6.3$$

Al doilea coeficient $b(i,t)$ este o a doua variabilă booleană care evaluează dacă cerințele privind nivelul de tensiune la bornele conexiunii VE la RDJT sunt încălcate. Astfel, $b(i,t)$ se calculează cu relația (6.4).

$$b(i,t) = \begin{cases} = 1; & \text{dacă } u_m(i,t) > u_{crit} \\ = 0; & \text{dacă } u_m(i,t) \leq u_{crit} \end{cases} \quad 6.4$$

unde:

- $u_m(i,t)$ reprezintă valoarea tensiunii în unități relative, măsurată de VE i , la momentul de timp t ;
- $u_{crit}(i,t)$ reprezintă valoarea prag a tensiunii în unități relative, impusă ca tensiune minimă de alimentare din RDJT acceptabilă la bornele VE.

Al treilea coeficient $c(i,t)$ luat în calcul este de fapt tensiunea măsurată în unități relative, astfel: $c(i,t) = u_m(i,t)$. $d(i,t)$ este un coeficient cu valori reale care ține cont de puterea medie necesară VE pentru a se încărca. Acesta se calculează conform relației (6.5).

$$d(i,t) = \frac{P_{med}(i,t)}{P_{max}(i,t)} \quad 6.5$$

Pseudocodul Algoritmului de Management al Încărcării (AMI) executat de fiecare VE care face parte din sistemul de control propus este indicat în Figura 6.1. unde:

- i – reprezintă indicele VE în cauză;
- j – reprezintă indicele tuturor celorlalte VE cu excepția lui i ;
- k – indicele tuturor VE.

VE detectează dacă este conectat la RDJT;

- *Calculează coeficienții $a(i,t)$, $b(i,t)$, $c(i,t)$, $d(i,t)$, $GC_{ch}(i,t)$;*

Transmite $GC_{ch}(i,t)$ și primește $GC_{ch}(j,t)$;

*If ($GC_{ch}(k,t) > 0$) **A****

{y = max ($GC_{ch}(k,t)$);

If ($y = GC_{ch}(i,t)$);

$P_{RD}(i,t+1) = P_{RD}(i,t) + 0.1 \cdot P_{max}(i)$;

*Else { $y = \min (GC_{ch}(k,t))$ **B****

If ($y = GC_{ch}(i,t)$);

$P_{RD}(i,t+1) = P_{RD}(i,t) - 0.1 \cdot P_{max}(i)$;

Figura 6.1 Pseudocodul AMI

Spre deosebire de abordările clasice unde un algoritm trebuie să convergă către o funcție obiectiv, modelul AMI V1 propus în această teză este gândit ca un algoritm care va controla continuu puterea cu care se încarcă VE. În acest context, conform pseudocodului din Figura 6.3, fiecare VE va executa pe rând următoarele acțiuni:

1. Detectează dacă VE este conectat la RDJT pentru a se încărca, situație în care calculează toți coeficienții proprii și prin intermediul DSRC, transmite valoarea coeficientului propriu și recepționează coeficienții de la celelalte mașini.
2. Dacă valoarea tuturor coeficienților globali de încărcare a tuturor mașinilor este mai mare ca 0, ($GC_{ch}(k,t) > 0$) pe ramura **A***, VE va calcula valoarea maximă $y = \max(GC_{ch}(k,t))$. Dacă valoarea maximă este chiar valoarea proprie, VE își va crește puterea de încărcare.
3. Dacă cel puțin unul dintre coeficienții globali este egal cu 0, ($GC_{ch}(k,t) = 0$) pe ramura **B***, se identifică valoarea minimă a coeficienților $y = \min(GC_{ch}(k,t))$. Dacă valoarea minimă este chiar valoarea proprie, VE își va reduce puterea de încărcare.

6.3.2 Studiu de caz privind performanța modelului AMI V1 în RDJT

Studiul implementării modelului AMI V1 s-a efectuat folosind rețeaua test considerată în studiul de caz prezentat în subcapitolul 5.4. Toate VE care se conectează la RDJT pentru încărcare reușesc să se încarce la nivelul dorit de SOC înaintea plecării. Nivelurile de tensiune trifazate ce rezultă în urma aplicării algoritmului AMI V1, exprimate în u.r. ce se înregistrează în nodurile 725 și 740 pot fi vizualizate în Figura 6.2, respectiv în Figura 6.3. Cele două noduri au fost alese ca fiind noduri capăt în RDJT.

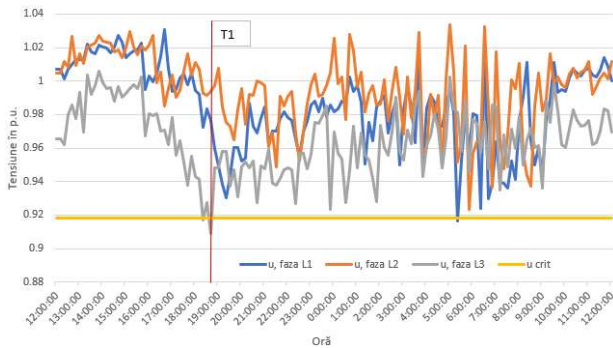


Figura 6.2 Niveluri de tensiune în nodul 725

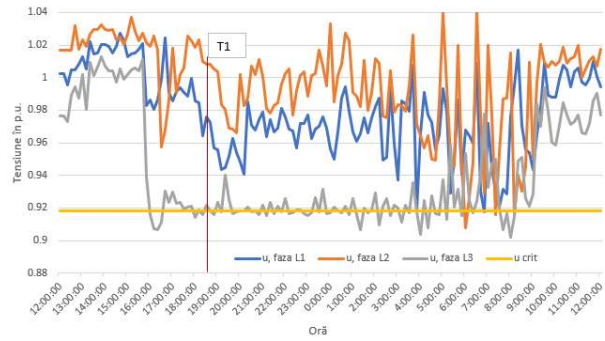


Figura 6.3 Niveluri de tensiune în nodul 740

Din analiza Figurilor 6.2 și 6.3 se pot trage următoarele concluzii:

1. Limita tensiunii critice u_{crit} impusă în cadrul algoritmului este depășită la ora 18:50 în nodul 725. Se poate observa că acel moment de timp coincide cu momentul T1 la care se înregistrează valoarea minimă a tensiunii în nodul de echilibru. Astfel, modelul AMI V1 nu poate asigura nivelul corespunzător de tensiune pe faza L3, singura opțiune fiind forțarea VE să funcționeze în regim V2G, ceea ce nu este permis.
2. Se poate observa că nivelul critic al tensiunii în nodul 725 u_{crit} este de asemenea depășit la ora 05:20; coroborând cu Figura 6.3, se observă că scăderea de tensiune de la 05:20 are o magnitudine mai scăzută și este de fapt un rezultat al prioritizării la încărcare a unei mașini situate în proximitatea nodului.
3. Nivelul minim admisibil al tensiunii în RDJT din România este de 0.9 u.r. conform standardelor. Ca urmare, modelul AMI V1, va urmări păstrarea de tensiune în rețeaua test peste acest nivel. Pentru aceasta, în funcția de calcul a coeficientului global $GC_{ch}(k,t)$ a fost introdus pragul critic u_{crit} (o valoare cu 2% mai mare decât limita minimă admisibilă, care înseamnă $0.9 \cdot 1.02 = 0.918$).

Se poate observa că nivelul critic este depășit uneori, însă nu este depășit nivelul minim. În acest mod, algoritmul AMI V1 asigură “protecția” nivelului minim de tensiune admisibil în RDJT.

4. Tensiunile variază considerabil în ambele noduri, generând un profil de fluctuație în forma de „dinți de fierăstrău”. Această caracteristică reflectă de fapt modul de funcționare al algoritmului AMI V1. În particular, când un VE este selectat pentru încărcare, acesta prezintă un coeficient global de încărcare ($GC_{ch}(i,t)$) cu valoarea ridicată, fiind prioritzat astfel pentru încărcare la o putere mare. Acest fapt determină scăderea generală a nivelului de tensiune în rețea, astfel încât la pasul următor, $t+1$, se produce o scădere abruptă a coeficientului $GC_{ch}(i,t)$.
5. Din analiza Figura 6.3 rezultă că pentru nodul 740 faza L3 este cea mai solicitată, pe parcursul încărcării VE, tensiunea pe această fază rămâne cvasi-constantă, oscilând foarte puțin în jurul pragului critic u_{crit} .
6. Pentru ambele noduri, scăderea tensiunii începe de la ora 16:00, când consumul casnic crește și apare și cererea de încărcare a VE. De asemenea, se constată un dezechilibru semnificativ între profilurile de tensiune pe cele trei faze.

Profilurile de sarcină din nodul de echilibru, sub forma profilului total de consum pe cele trei faze se prezintă în Figura 6.4. După cum se observă, consumul pe cele 3 faze este puternic dezechilibrat, în mod special până la ora 01:00. Într-o oarecare măsură acest fapt se poate explica prin modalitatea în care modelul AMI V1 prioritizează VE. VE care necesită cantități ridicate de energie sunt prioritzate indiferent de faza la care acestea sunt conectate, fapt care se poate observa în jurul orei 16:00 în mod special. La ora 16:00, conform Tabelul 5.2, sunt prezente doar 2 VE și anume VE 5, care este trifazat, și VE 11, care este conectat pe faza L3. Modelul AMI V1, profită de faptul că la ora 16:00 sunt prezente puține mașini, nivelul de tensiune este încă ridicat și consumul gospodăriilor relativ scăzut și le prioritizează pe acestea.

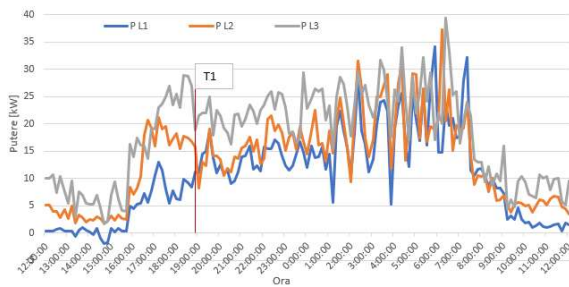


Figura 6.4 Puterea consumată din nodul de echilibru pe fazele L1, L2 și L3

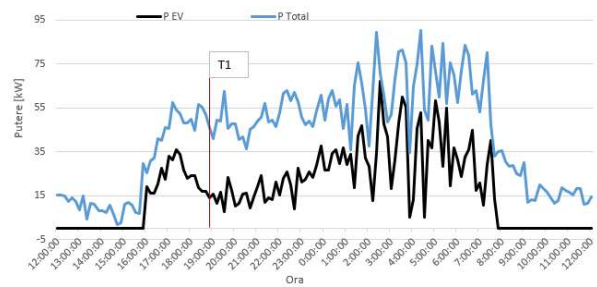


Figura 6.5 Puterea totală consumată din nodul de echilibru

Se poate observa că la momentul T1, când în nodul de echilibru se înregistrează cel mai scăzut nivel de tensiune, puterea totală consumată de VE scade. Cu toate că valoarea de 14 kW consumată de VE la acel moment nu reprezintă un minim global așa cum este cazul tensiunii, este important de observat că modelul AMI V1 reglează puterea consumată de VE adaptând-o la condițiile din rețea. Din analiza datelor din această figură, coroborate cu profilurile de tensiune din Figura 6.2 și Figura 6.3 se observă legătura directă între nivelurile de tensiune și puterile consumate din nodul de echilibru, regăsindu-se tiparul de variație în “dinți de fierăstrău”.

Pentru o analiză de ansamblu se prezintă și profilurile puterii totale consumate de VE și a puterii totale absorbite din nodul de echilibru în Figura 6.5. Din evoluția puterilor consumate din nodul de echilibru

se poate observa că ponderea cu care VE participă în consumul total este în continuă creștere. Practic se poate deduce că pe măsură ce scade consumul gospodăriilor crește consumul VE, o logică care este urmărită de algoritmi de tip ToU. Profilurile numărului de VE care sunt conectate la RDJT și a celor care se încarcă efectiv sunt prezentate pentru algoritmul AMI V1 în Figura 6.6. Coroborând cu Figura 6.4, se poate spune că algoritmul AMI V1 va adapta nu doar puterea consumată de VE, ci și numărul de VE la condițiile de tensiune din RDJT.

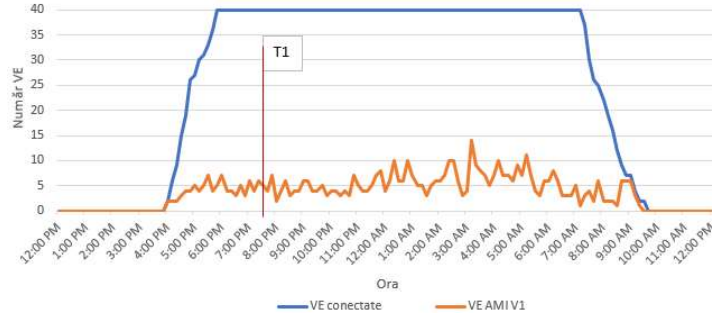


Figura 6.6 Număr de VE conectare la RDJT și a celor care se încarcă efectiv în cazul modelului AMI V1

6.3.3 Concluzii

Acest studiu de caz a prezentat performanțele metodei de management a încărcării VE în varianta AMI V1, care este eficientă, accesibilă și ușor de implementat. Această metodă funcționează direct pe calculatoarele de bord ale vehiculelor, utilizând funcționalitățile și echipamentele unui VE modern.

Inițial, modelul AMI V1 a fost conceput pentru a simula o abordare de tip *Time-of-Use*, adică amânarea încărcării VE atâta timp cât este posibil, asigurând totuși încărcarea completă a acestora la plecarea din RD. Metoda folosește tensiunea rețelei ca un indicator al stării acesteia, crescând puterea de încărcare când tensiunea este ridicată și reducând-o când aceasta scade. Cu toate acestea, s-a observat că profilurile de consum ale energiei sunt dezechilibrate și prezintă variații abrupte, în formă de "diniți de fierăstrău".

6.4 Algoritmul de management a încărcării - Varianta V2

6.4.1 Model matematic al algoritmului de management al încărcării AMI V2

Se presupune că prin intermediul DSRC toate VE sunt capabile să partajeze între ele un coeficient numit Coeficient Global de Încărcare, notat cu $GC_{ch}(i, t)$. În noua versiune a modelului AMI V2, coeficientul $GC_{ch}(i, t)$ este un număr real ce însumează un număr de 10 parametri [50].

Primul coeficient reflectă necesitatea de încărcare a VE și se calculează folosind relația (6.6).

$$a(i, t) = \begin{cases} = 1, & \text{dacă } SOC_{ACT}(i, t) < SOC_{DES}(i) \\ = 0, & \text{dacă } SOC_{ACT}(i, t) \geq SOC_{DES}(i) \end{cases} \quad 6.6$$

Cel de al doilea coeficient evaluează dacă restricțiile de nivel de tensiune la borna conexiunii VE la RDJT sunt sau nu încălcate. Astfel, $b(i, t)$ se calculează cu relația (6.7).

$$b(i, t) = \begin{cases} = 1; & \text{dacă } u_m(i, t) > u_{crit} \\ = 0; & \text{dacă } u_m(i, t) \leq u_{crit} \end{cases} \quad 6.7$$

Al treilea coeficient luat în calcul este de fapt tensiunea măsurată în unități relative, astfel: $c(i, t) = u_m(i, t)$. $d(i, t)$ este un coeficient cu valori reale care ține cont de puterea medie necesară VE pentru a se încărca. Acesta se calculează, ză conform relației (6.8).

$$d(i, t) = \frac{P_{med}(i, t)}{P_{max}(i, t)} \quad 6.8$$

unde, $P_{med}(i, t)$ se calculează folosind relația (6.2).

Al cincilea coeficient, $f(i, t)$, este utilizat pentru a prioritiza încărcarea VE la bornele cărora tensiunea are o valoare mai ridicată. De fapt, $f(i, t)$, amplifică efectul coeficientului $c(i, t)$ în formula de calcul a Coeficientului Global de Încărcare. Calculat conform ecuației (6.9), $f(i, t)$ are rolul de a echilibra consumul de putere pe fazele RD.

$$f(i, t) = \begin{cases} = 1,2; & \text{dacă } u_m(i, t) > 0,98 \\ = 1; & \text{dacă } u_m(i, t) \leq 0,98 \end{cases} \quad 6.9$$

Alături de acești coeficienți, se mai utilizează alți trei parametri cu semnificații precise, și anume: $p(i, t)$, $T_{ch}(i, t)$ și $T_{cr}(i, t)$. Dintre aceștia, $p(i, t)$ reprezintă puterea efectiv consumată din RD măsurată în unități relative (u.r.). Aceasta se calculează printr-o simplă diviziune a puterii de încărcare efective la puterea maximă de încărcare a ONBC, $P_{max}(i)$. $p(i, t)$ este utilizat în calculul Coeficientului Global de Încărcare sub forma $1-p(i, t)$ și reprezintă așa-numitul *factor de auto-penalizare*. $T_{ch}(i, t)$ reprezintă perioada de timp scursă de la momentul în care VE s-a conectat la RD $T_{arr}(i)$ și până la momentul curent. $T_{cr}(i, t)$ reprezintă momentul critic de timp în care VE modelat trebuie să înceapă încărcarea la puterea maximă, $P_{max}(i)$ pentru a satisface cerințele $SOC_{ACT}(i, T_{dep}) \geq SOC_{DES}(i)$. $T_{cr}(i, t)$ se calculează utilizând relația (6.10).

$$T_{cr}(i, t) = T_{dep} - \frac{[SOC_{DES}(i, t) - SOC_{ACT}(i, t)] \cdot Cap(i)}{100 \cdot P_{max}(i)} - \Delta T \quad 6.10$$

unde: ΔT reprezintă o marjă de timp de siguranță.

Ultimul coeficient, $w(i, t)$ este un factor utilizat pentru a diferenția situațiile în care nivelurile de tensiune scad sub pragul impus ($b(i, t)=0$) și situația în care un vehicul electric se încarcă la puterea maximă $P_{max}(i)$ (situația în care $1-p(i, t)$ este zero). Pentru toate VE care se încarcă la $P_{max}(i)$, $w(i, t)$ va lua valoarea ε , și va fi egal cu 0 în alte situații. ε este o constantă egală cu o valoare pozitivă infinit de mică (din punct de vedere teoretic); în simulare valoarea a fost setată la $1 \cdot 10^{-10}$.

Coeficientul global de încărcare pentru fiecare VE pentru versiunea V2 a algoritmului se calculează cu ecuația (6.11).

$$GC_{ch}(i, t) = a(i, t) \cdot b(i, t) \cdot c(i, t) \cdot d(i, t) \cdot f(i, t) \cdot \sqrt{1 - p(i, t)} \cdot T_{ch}(i, t) / T_{cr}(i, t) + w(i, t) \quad 6.11$$

În opinia autorului cele mai importante sunt legate de prezența factorului de penalizare $1-p(i, t)$ și a factorului de prioritizare $f(i, t)$. Cei doi factori au fost introduși cu următoarele scopuri: $1-p(i, t)$ pentru a crește numărul de VE care se încarcă simultan și $f(i, t)$ pentru a avantaja prioritizarea VE care sunt conectate pe fazele mai puțin încărcate. Timpii $T_{ch}(i, t)$ și $T_{cr}(i, t)$ au fost introduși cu scopul identificării VE care mai au puțin timp rămas până la plecare, în acest fel ținându-se cont de puterea cu care aceste mașini trebuie să se încarce. Pseudocodul Algoritmului de Management al Încărcării în varianta 2 (AMI V2) executat de fiecare VE care face parte din sistemul de control propus se poate vizualiza mai jos:

unde:

i – reprezintă indicele VE în cauză;

j – reprezintă indicele tuturor celorlalte VE cu excepția lui i ;

k – indicele tuturor VE.

După cum se poate vedea în pseudocod, după ce un VE detectează că este conectat la RD, acesta activează execuția algoritmului AMI. Mai întâi, se calculează toți coeficienții utilizați în calculul lui $GC_{ch}(i,t)$. Dacă $a(i,t)=0$ (ramura **0***), VE este încărcat, și ca urmare nu are sens ca acea mașină să participe mai departe în algoritm. În această situație, execuția modelului AMI V2 se întrerupe, puterea consumată din rețea $P_{RD}(i,t)$ este setată la 0 și coeficientul propriu $GC_{ch}(i,t)$ nu este transmis celorlalte VE.

În cealaltă situație (ramura **1***), Coeficientul $GC_{ch}(i,t)$ este transmis către celelalte VE, și se

```
VE detectează dacă este conectat la RDJT;
Calculează coeficienții  $a(i,t)$ ,  $b(i,t)$ ,  $c(i,t)$ ,  $d(i,t)$ ,  $f(i,t)$ ,  $p(i,t)$ ,  $w(i,t)$ ,  $T_{ch}(i,t)$  and  $T_{cr}(i,t)$ ;
If  $a(i,t)=0$  then  $P_{RD}(i,t)=0$ ;  $\{(VE \text{ este încărcat}); \mathbf{0*};\}$ 
Else  $\{Calculează  $GC_{ch}(i,t)$ ; 1*;$ 
    Transmite  $GC_{ch}(i,t)$  și primește  $GC_{ch}(j,t)$ ;
    If  $(GC_{ch}(k,t)>0)$ 
         $\{y=\max(GC_{ch}(k,t)); \mathbf{A*}$ 
        If  $(y=GC_{ch}(i,t));$ 
         $P_{RD}(i,t+1)=P_{RD}(i,t)+0.05 \cdot P_{max}(i); \}$ 
    Else  $\{ If (P_{RD}(i,t)=0) \text{ then wait; } \mathbf{B*}$ 
        Else  $P_{RD}(i,t+1)=P_{RD}(i,t)-0.2 \cdot P_{max}(i); \}$ 
    If  $(t=T_{cr}(i,t))$  then  $\{lansează procedura globală de reducere a SOC_{DES}$ ; Transmite semnalul lansării procedurii}
```

Figura 6.7 Psuedocodul AMI V2

recepționează coeficienții de la celelalte VE, $GC_{ch}(j,t)$. În această etapă, dacă cel puțin unul dintre coeficienții $GC_{ch}(k,t)$ este nul (ramura **B***), aceasta înseamnă că, în cel puțin un nod din rețea, condiția de nivel de tensiune minimă este încălcată ($u_m(k,t) < u_{crit}$), iar dacă VE sunt în curs de încărcare ($P_{RD}(i,t) > 0$), ele își vor reduce puterea consumată din rețea cu 20% din $P_{max}(i)$. Dacă $P_{RD}(i,t)=0$, VE trece pur și simplu în așteptarea unui moment de timp t mai prielnic.

Pe ramura **A*** (unde toți coeficienții $GC_{ch}(k,t)$ sunt pozitivi și mai mari ca 0), fiecare VE verifică dacă $GC_{ch}(i,t)$ propriu are valoarea maximă printre toate vehiculele $GC_{ch}(k,t)$, situație în care acesta va crește puterea de încărcare $P_{RD}(i,t)$. În aceste condiții, la fiecare moment t , doar un singur VE (cel cu coeficientul $GC_{ch}(i,t)$ maxim) va crește puterea sa de încărcare. Dacă valoarea $GC_{ch}(i,t)$ nu este valoarea maximă la nivelul tuturor VE acesta își va păstra puterea constantă, așteptând practic momentul de timp t prielnic.

Cât timp permite nivelul de tensiune, în cadrul modelului AMI V2 propus, VE cu necesitățile energetice cele mai mari, sunt avantajate spre încărcare. După cum a fost menționat, fiecare VE își calculează momentul critic de timp $T_{cr}(i,t)$. Când se atinge momentul de timp critic pentru oricare dintre mașini ($t = T_{cr}(k,t)$) aceasta va declanșa *procedura sau funcția de reducere a SOC_{DES}* . Astfel, la recepția acestui semnal toate mașinile își vor recalcula $SOC_{DESN}(i)$ care reprezintă noua valoare a $SOC_{des}(i)$, folosind ecuația (6.12), iar procesul de management continuă cu valorile noi ale $SOC_{DESN}(k)$.

$$SOC_{DESN}(i) = \frac{SOC_{DES}(i)/100 \cdot Cap(i) - \Delta W_R}{Cap(i) \cdot 100} \quad \square \quad 6.12$$

6.4.2 Studiu de caz privind performanța modelului AMI V2 la variația tensiunii

Pentru a putea face comparația între performanțele obținute de algoritmul AMI V2 și prima variantă, AMI V1, implementarea s-a realizat pe aceeași rețea test, funcționând în aceleași condiții.

6.4.2.1 Scenarii

Pentru a demonstra modul în care algoritmul AMI V2 se adaptează la variațiile de tensiune din RDJT s-au considerat următoarele scenarii:

- S1, este scenariul în care se simulează poziția +1 a comutatorului de ploturi, astfel încât factorul de ajustare a tensiunii este 0,975;
- S2, poziția 0 a comutatorului de ploturi, corespunzător unui factor de ajustare a tensiunii egal cu 1,0;
- S3, poziția -1 a comutatorului de ploturi, corespunzător unui factor de ajustare a tensiunii egal cu 1,025.

Deoarece în cazul utilizării unui factor de ajustare a tensiunii egal cu 0,975, la rularea modelului AMI V2 se activează funcția de reducere a SOC, s-a luat în considerare definirea a altor două scenarii suplimentare, care ilustrează efectul pe care această funcție îl are asupra procesului de încărcare:

- S1' scenariul corespunzător unui factor de ajustare a tensiunii egal cu 0,98
- S1'' scenariul corespunzător unui factor de ajustare a tensiunii egal cu 0,985.

6.4.2.2 Rezultate; Procesul de încărcare a VE

Pentru a avea o vizualizare clară a comportamentului VE în cadrul rețelei test, în Figura 6.8 se indică evoluția în perioada analizată a numărului de VE prezente (încărcându-se sau în așteptare), precum și a numărului de VE care se încarcă efectiv, pentru cele trei scenarii principale. Se reamintește faptul că mașinile simulate sunt mașini utilizate exclusiv cu scopul deplasării la serviciu și acasă; astfel, în Figura 6.8 se poate observa că mașinile ajung la domiciliu începând cu ora 16:00 și toate VE vor părăsi domiciliile până la ora 09:30 a doua zi.

După cum se poate vedea în Figura 6.8, modelul AMI V2 selectează în mode continuu VE care se încarcă; astfel se poate observa că de-a lungul întregii simulări numărul de VE care efectiv se încarcă este mai mic decât numărul de VE prezente. Între orele 16:00 și 16:40, în toate scenariile, numărul de VE care

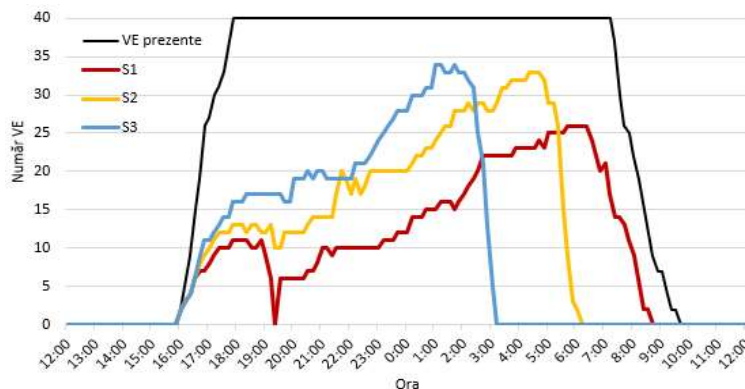


Figura 6.8 Număr VE prezente și număr VE care efectiv se încarcă concomitent în scenariile S1, S2 și S3

se încarcă este același, astfel încât mașinile care au ajuns mai devreme, profită de momentele în care nivelurile tensiunii în nodul de echilibru sunt bune și există un consum al gospodăriilor relativ scăzut.

Profilurile din Figura 6.8 ilustrează faptul că, pe parcursul simulării, numărul VE care se încarcă variază semnificativ între cele trei scenarii. În scenariul S1, scenariul cu cel mai scăzut nivel de tensiune, numărul de VE care se încarcă simultan este cel mai mic, atingând un maxim de 26 de vehicule. În schimb, pentru scenariul S3, unde nivelul de tensiune este cel mai mare, numărul ajunge până la 34 de vehicule. În Figura 6.8 se poate observa clar momentul în care încărcarea se oprește: pentru scenariul S1 – la ora 08:30; pentru scenariul S2 – la ora 06:00; pentru scenariul S3 – la ora 03:00.

Influența nivelului de tensiune din nodul de echilibru asupra procesului de încărcare este evidentă în aplicarea procedurii de reducere a SOC global. Pentru a scoate în evidență la nivel de detaliu această influență, se apelează la scenariile auxiliare S1' și S1''. Conform Figura 6.8, în toate cele trei scenarii, procesul de încărcare este oprit înainte ca toate VE să-și atingă $SOC_{DES}(i)$. Acest lucru se întâmplă din cauza activării procedurii globale de reducere a SOC. În scenariul S1, procedura a fost activată de 24 de ori; în S1', de 16 ori; și în S1'', de 5 ori. De fiecare dată când procedura de reducere a SOC global este activată, toate VE-urile își reduc $SOC_{DES}(i)$. Valoarea nouă a $SOC_{DES}(i)$ rezultată după aplicarea procedurii de reducere este denumită în continuare $noul_SOC_{des}(i)$. Această adaptare a valorilor SOC, reflectă capacitatea modelului AMI V2 de a răspunde dinamic la evoluția tensiunii din rețea, asigurând o gestionare eficientă a resurselor energetice disponibile și minimizând posibilele perturbații în RD a energiei electrice. Pentru a vedea influența procedurii globale de reducere a SOC, în Figurile 6.9, 6.10 și 6.11, se prezintă valorile SOC_{DES} la începutul simulării, valoarea $noul_SOC_{DES}$ rezultată la finalul simulării și valoarea la plecare SOC_{DEP} , în scenariile S1, S1' și respectiv S1''.

Din Figurile 6.9, 6.10 și 6.11 se poate observa o dependență invers proporțională între nivelul tensiunii în nodul de echilibru și numărul de activări ale procedurii globale de reducere a SOC. Astfel, cu cât nivelurile tensiunii sunt mai mari, cu atât numărul de activări este mai mic, și vice-versa. Pentru o înțelegere mai bună a comportamentului produs de modelul AMI V2, în Figura 6.12 se prezintă profilurile puterilor de încărcare consumate din nodul de echilibru de către VE în cele trei scenarii principale. După cum se poate observa profilurile de putere prezintă un tipar similar cu cele din Figura 6.8, unde sunt prezentate numărul de VE care efectiv se încarcă în cele trei scenarii principale. Astfel, se poate observa că puterea de încărcare crește odată cu nivelul de tensiune din nodul de echilibru, fapt care conduce la finalizarea mai rapidă a încărcării.

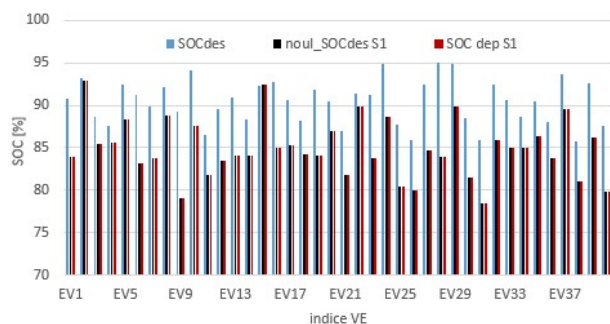


Figura 6.9 SOC_{DES}, noul_SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1

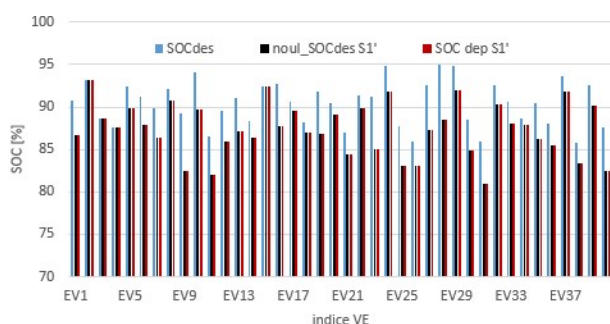


Figura 6.10 SOC_{DES}, noul_SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1'

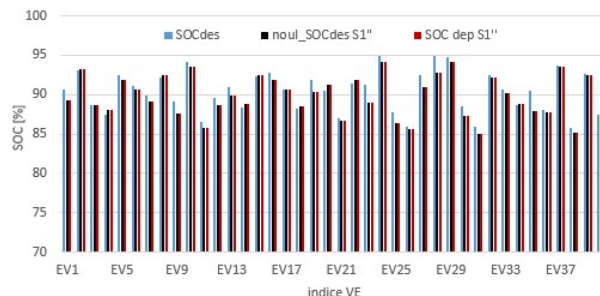


Figura 6.11 SOC_{DES}, noul_SOC_{DES} și SOC_{DEP} în scenariul S1''

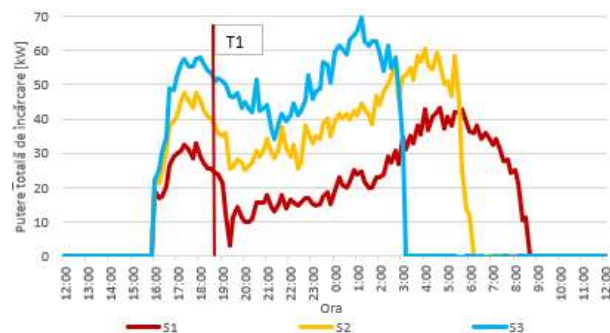


Figura 6.12 Putere totală de încărcare a VE

Pe de altă parte, profilurile de putere prezentate în Figura 6.12, reflectă, printre altele, răspunsul modelului AMI V2 la variațiile de tensiune. Un exemplu clar este scăderea tensiunii în jurul momentului T1. Această scădere a tensiunii provoacă un răspuns din partea algoritmului, care reduce puterea de încărcare a VE. Astfel, în scenariul S1, puterea de încărcare este redusă rapid la zero, restul puterii fiind consumul în regim de așteptare. În scenariul S2, nivelurile de tensiune sunt totuși mai mari, astfel încărcarea este redusă la zero doar pentru 2 VE-uri. În final, în scenariul S3, când tensiunea este cea mai ridicată, există doar o reducere a puterii de încărcare, fără a opri încărcarea vreunei mașini. Acest lucru înseamnă că modelul AMI V2 reușește să adapteze continuu puterea de încărcare a VE la nivelurile de tensiune din rețea.

6.4.2.3 Tensiuni în rețea

Așa cum a fost prezentat, puterea de încărcare a VE crește odată cu nivelul tensiunii în nodul de echilibru. Totuși nu acesta este obiectivul principal al modelului AMI V2. Sistemul AMI V2 permite încărcarea VE simultan cu menținerea nivelurilor de tensiune din rețea peste valoarea minimă admisibilă impusă. Această secțiune va prezenta și va discuta nivelurile de tensiune din RDJT.

Figurile 6.13, 6.14 și 6.15 prezintă profilurile de tensiune în nodul 740. Se observă că nivelurile de tensiune variază între 0.91 p.u. și 1.06 p.u. După cum se poate observa, nivelurile de tensiune în nodul 740 sunt mai scăzute comparativ nodul 725; fapt normal, deoarece nodul 740 este mai îndepărtat de nodul sursă.

Pentru a ușura analiza vizuală a graficelor, în Figura 6.15 și în toate figurile unde este considerat a fi relevant, s-a trasat o linie suplimentară reprezentând valoarea nivelului critic de tensiune u_{crit} care a fost setat în cadrul modelului AMI V2. Analizând profilurile tensiunilor prezentate până în momentul actual, se pot trage următoarele concluzii:

1. Nivelurile de tensiune în nodurile de capăt ale rețelei test sunt întotdeauna mai mari față de nivelul minim admisibil în rețea.

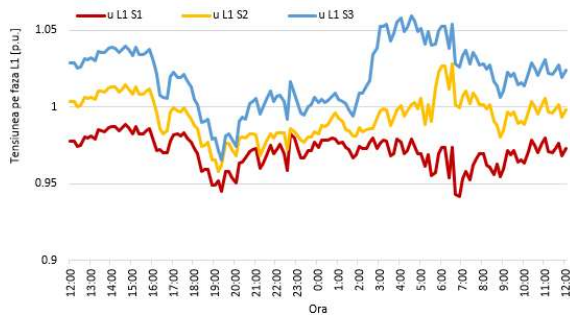


Figura 6.13 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L1 în scenariile S1, S2 și S3

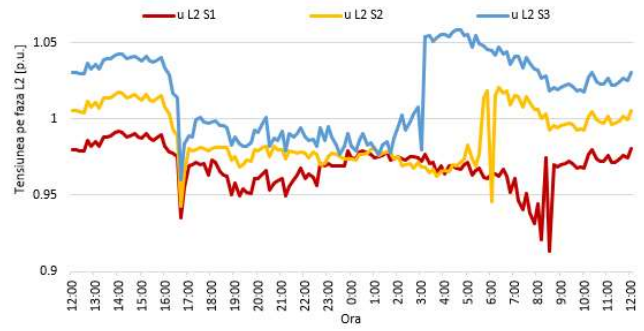


Figura 6.14 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L2 în scenariile S1, S2 și S3

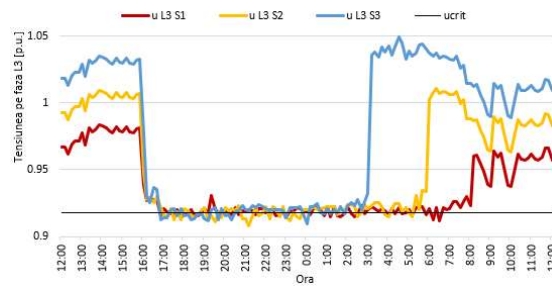


Figura 6.15 Evoluția nivelului de tensiune în nodul 740 pe faza L3 în scenariile S1, S2 și S3

2. Momentele de timp când VE încep încărcarea și când acestea o finalizează sunt relativ ușor de identificat; astfel în cazul modelului AMI V2 nivelul tensiunii în rețea scade abrupt când începe încărcarea VE, iar la finalizarea încărcării nivelului tensiunii revine la valori superioare; mai mult de atât, cu cât nodul analizat este mai depărtat de nodul sursă, aceste momente sunt mai evidente, fapt ce se poate vedea din Figura 6.15.
3. Faza L3 a rețelei este faza cu cea mai ridicată încărcare, iar profilul tensiunii de pe această fază prezintă un cu totul alt tipar de variație. Se reamintește că modelul AMI V2 este menit să asigure încărcarea VE simultan cu o “protecție” a nivelurilor de tensiune în întreaga rețea.

În continuare, se explică forma particulară a profilurilor de tensiune din Figura 6.15. Nu există un singur argument care să poată explica de sine stătător tiparul profilurilor de tensiune ale fazei L3 din figură. Totuși, gruparea profilurilor de tensiune pe faza L3 pentru toate cele trei scenarii, în timpul încărcării VE, este justificată de modul de operare al modelului AMI V2: VE conectate la faza L3 se încarcă la putere relativ ridicată, ceea ce determină o scădere a tensiunii, sub valoarea critică u_{crit} ; în acest punct, sistemul intervine și reduce puterea de încărcare, urmată de oscilații ale puterii de încărcare și ale tensiunii în jurul valorilor critice; oscilațiile de tensiune au același diapazon pentru toate cele trei scenarii.

Profilul tensiunii pe faza L3 este rezultatul consumului casnic crescut, la care se adaugă un consum suplimentar important ca valoare al VE, faza L3 fiind cea mai încărcată dintre fazele rețelei test. Pentru a ilustra influența directă a încărcării VE asupra nivelului de tensiune de pe faza L3, în Figura 6.16 se prezintă pe un grafic cu scală dublă profilurile de tensiune de pe faza L3 din nodul 740 și profilul puterii consumate de VE din nodul de echilibru. Se poate observa că puterea consumată de VE de pe faza L3 este continuu

adaptată, astfel încât tensiunea din nodul 740 pe aceeași fază să nu scadă sub un nivel critic protejat, în situația actuală 0.9 u.r.

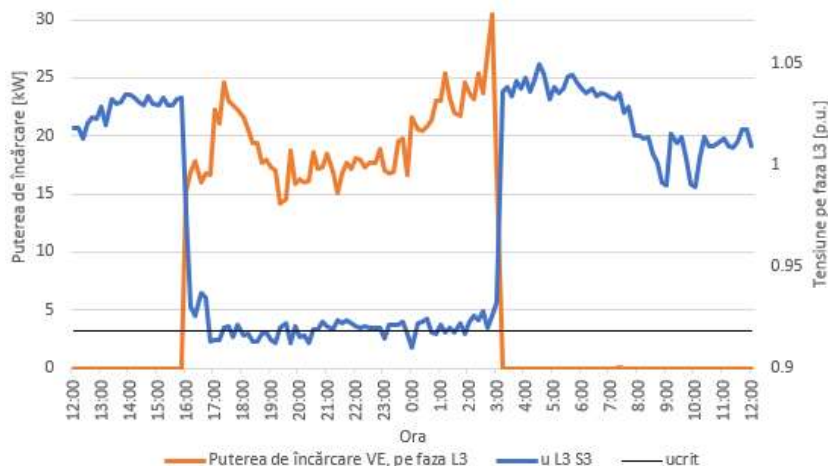


Figura 6.16 Evoluția nivelului de tensiune și a puterii de încărcare VE în nodul 740 pe faza L3 în scenariul S3

6.4.3 Studiu de caz privind preformața modelului AMI V2 în situația unei mobilități crescute

6.4.3.1 Scenariul studiat

Pentru a lua în considerare o ipoteză diferită, referitoare la comportamentul VE pe timpul nopții, a fost considerat un scenariu suplimentar, bazat pe un nivel mai mare de mobilitate al VE, numit „Scenariul de Mobilitate Ridicată” (SMR). Astfel, se consideră că o parte din vehicule părăsesc domiciliul efectuând o deplasare pe o anumită durată de timp. Se consideră că această deplasare este inclusă în programul EV, astfel încât, la calculul $GC_{ch}(i,t)$ propriu fiecare VE utilizează momentul de timp T_{depint} . Plecările și revenirile VE, au fost generate aleatoriu folosind o distribuție normală în jurul orei 00:00 pentru plecări și la ora 02:40 pentru reveniri, cu o deviație de 2 ore și 40 de minute și cu restricție a duratei de călătorie de minimum 10 minute. Consumul de energie pentru efectuarea deplasării suplimentare a fost generat aleatoriu, între 0 și 20%. Toate datele privind deplasarea suplimentară se pot vizualiza în Tabelul 5.2.

6.4.3.2 Rezultate mașini prezente

Pentru a vizualiza diferențele între cele 2 scenarii, în Figura 6.17 se prezintă evoluția numărului de VE prezente la domiciliu și a celor conectate la rețea în curs de încărcare în scenariile S2 și SMR. După cum se poate observa, vehiculele electrice (VE) prezente în scenariul SMR sunt într-un număr constant mai redus comparativ cu cele din scenariul S2, cu excepția intervalelor 17:50÷18:40 și 04:30÷07:10 când numărul VE este același în ambele scenarii și egal cu 40. Profilurile din figură evidențiază faptul că numărul de VE care se încarcă efectiv, este mai mic în scenariul SMR, aproape tot timpul, cu excepția vârfului din jurul orei 16:30, și a perioadei de timp când încărcarea se finalizează în scenariul S2. Vârful care se înregistrează în jurul orei 16:30 este explicabil; acest vârf se produce ca urmare a reordonării VE la încărcare, astfel încât mașinile care urmează să efectueze o deplasare suplimentară vor avea timpul critic foarte scurt și un coeficient $GC_{ch}(i,t)$ cu valoare mare. Ca urmare, aceste VE vor fi prioritizate pentru încărcare de către modelul AMI V2. Pe măsura trecerii timpului și a ieșirii din rețea a mașinilor care au de

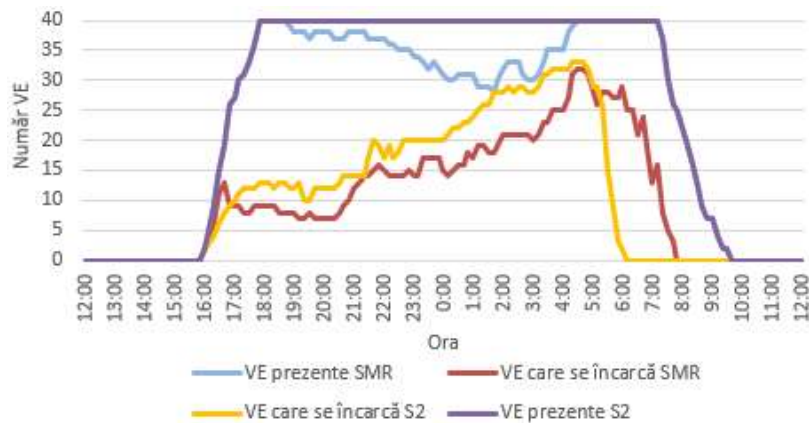


Figura 6.17 Număr de VE prezente și a celor care se încarcă în scenariul S2 și SMR

efectuat deplasări suplimentare, acestea lasă loc celorlalte mașini să se încarce; la revenire, acestea vor fi din nou prioritizate pentru încărcare.

Din diagramă se poate identifica clar momentul finalizării încărcării grupului de VE în scenariul SMR și anume la ora 07:40, comparativ cu scenariul S2 unde procesul de încărcare se încheie la ora 06:00. Această diferență semnificativă de timp este justificată de două aspecte principale:

1. Volumul de energie suplimentar furnizat mașinilor în scenariul SMR, în valoare de 77 kWh, conform cu Tabelul 5.2.
2. În perioada deplasărilor suplimentare, VE nu au acces la facilități de încărcare, astfel încât mașinile respective încep o nouă sesiune de încărcare abia după T_{arrit} ; ca urmare perioada totală de încărcare se prelungește.

6.4.3.3 Rezultate putere consumată din RDJT

În Figura 6.18 sunt prezentate în formă compactă, suprapuse pe un grafic cu 2 axe, variația numărului de VE ce se încarcă, a puterii consumate de VE și a consumul casnic. Coroborând Figura 6.18 cu cele din Figura 6.16, se pot trage următoarele concluzii asupra efectelor aplicării modelului AMI V2:

1. Algoritmul adaptează continuu puterea de încărcare a VE, în funcție de nivelul de tensiune din RDJT; nivelul minim admisibil al tensiunii de 0,9 u.r. nu este niciodată depășit.
2. Managementul puterii de încărcare ține cont indirect de consumul casnic în RD; astfel, se poate observa că între ora 16:00 și 17:00 și 23:00 până la ora 05:00 (perioade în care nivelul tensiunii este unul bun și consumul casnic este relativ scăzut) puterea de încărcare a VE este una ridicată, și vice-versa.
3. Algoritmul este capabil să se adapteze la schimbarea scenariului inițial de încărcare în contextul unei mobilități ridicate. Astfel, în scenariul SMR toate VE se încarcă la nivelul SOC dorit înainte de a părăsi rețeaua.
4. Modelul AMI V2 adaptează numărul de mașini care se încarcă la un moment dat, ținând cont de necesitățile mașinilor, astfel încât mașinile care au nevoie de cantități de energie importante sunt prioritizate.

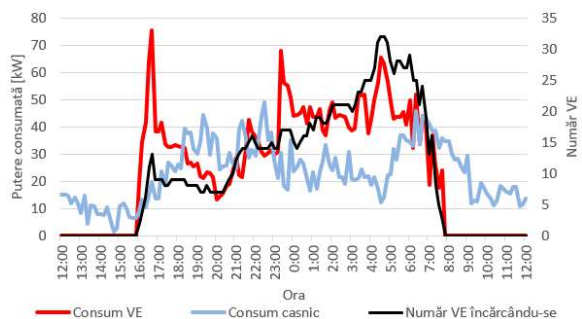


Figura 6.18 Puterea totală de încărcare a VE, consumul casnic și numărul de VE care se încarcă în scenariul SMR

6.4.4 Studiu de caz privind performanța AMI V2 la variația producției din surse DG

Popularitatea surselor DG a crescut semnificativ în ultima perioadă, reflectând o schimbare globală către sustenabilitate și independență energetică. Pe de altă parte, creșterea adopției VE reprezintă atât o oportunitate, cât și un potențial pericol. În prezentul subcapitol se studiază cum reacționează modelul AMI V2 la variația producției de energie din surse DG [53].

6.4.4.1 Scenariu

Dintre scenariile originale, s-au păstrat doar scenariile S1 și S2, adică scenariile în care scăderea producției din sursa DG poate ridica probleme sau poate agrava problemele existente. Pentru denumirea noilor scenarii s-a decis utilizarea numerotării cu 2 indici; primul indice este de fapt scenariul de bază, și cel de-al doilea corespunde valorii puterii produse de sursa DG (pentru puterile de 2 kW și 6 kW) sau lipsește (pentru puterea de 10 kW).

Tabelul 6.1 Scenarii analizate

Scenariu	1	2	1.2	2.2	1.6	2.6
Factor tensiune	0.975	1.000	0.975	1.000	0.975	1.000
Producție sursă DG	10 kW	10 kW	2 kW	2 kW	6 kW	6 kW

6.4.4.2 Rezultate

Este de așteptat că între orele 18:00 și 02:00 nivelul de tensiune în nodul 730 să scadă, din cauza scăderii producției sursei DG. Astfel, este de așteptat ca modelul AMI V2 să reducă puterea de încărcare a VE pentru a compensa lipsa producției. Ca și în celelalte studii de caz, vom începe cu analiza numărului de VE care efectiv se încarcă în cele 6 scenarii. Astfel, variația numărului de VE care se încarcă simultan este prezentată pentru scenariile S1, S1.2 și S1.6 în Figura 6.19, respectiv pentru scenariile S2, S2.2 și S2.6 în Figura 6.20. Profilurile din Figura 6.19 și Figura 6.20 arată că la începutul perioadei de deficit (între orele 18:00 și 20:00), numărul de VE care se încarcă scade, urmat de o creștere graduală pe parcursul restului perioadei. Acest comportament era de așteptat, deoarece rezultatele modelului AMI V2 depinde de nivelul tensiunii din rețeaua test, iar în perioada menționată, tensiunile sunt afectate. În plus, având în vedere că numărul de VE care se încarcă este redus, este de așteptat ca modelul AMI V2 să compenseze lipsa producției din surse DG și să acorde o prioritate mai mare VE situate mai aproape de nodul de echilibru, fapt care ca duce la o creștere a consumului de energie. Similar cu scenariile de bază, în jurul orei 19:20, se poate observa o reducere a numărului de VE care se încarcă, lucru de așteptat, ca urmare a scăderii tensiunii din nodul de echilibru și creșterii consumului casnic, care intră în zona de vârf de consum.

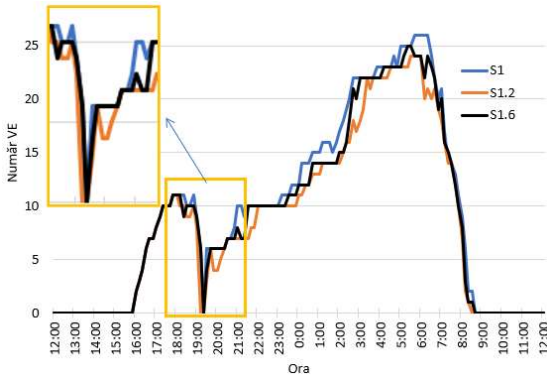


Figura 6.19 Număr de VE care se încarcă în scenariile S1, S1.2 și S1.6

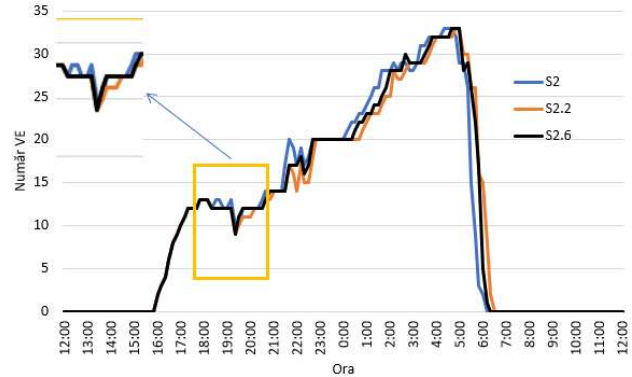


Figura 6.20 Număr de VE care se încarcă în scenariile S2, S2.2 și S2.6

Momentul în care deficitul de producție din sursa DG se încheie, poate fi observat în Figura 6.19 și Figura 6.20. Astfel, în jurul orei 02:00, se observă o creștere rapidă a numărului de VE care se încarcă în scenariile S1.2, S1.6, S2.2 și S2.6. Variația puterii totale consumate din nodul de echilibru este prezentată în scenariile S1, S1.2 și S1.6 în Figura 6.21, respectiv în scenariile S2, S2.2 și S2.6 în Figura 6.22. Este evident că în toate scenariile cu deficit de generare a energiei din sursa DG consumul de energie din nodul de echilibru crește. Ca urmare, căderile de tensiune în rețea cresc, iar modelul AMI V2 va ajusta puterea de încărcare a VE conform nivelurilor de tensiune din rețea, pentru a le menține în limitele admisibile.

Bineînțeles, conform cu cele prezentate mai sus, de cel mai mare interes este valoarea tensiunii în nodul 740, pe faza L3. Astfel, pentru scenariile S1, S1.2 și S1.6 se prezintă evoluția tensiunii în Figura 6.23, iar pentru scenariile S2, S2.2 și S2.6 în Figura 6.24. Traseul de alimentare al consumatorilor din nodul 740 trece prin nodul 730, unde este amplasată sursa DG, deci nivelul tensiunii din acest nod este afectat în mod direct de reducerea producției. După cum se poate vedea din Figura 6.23 și Figura 6.24, nivelul tensiunii nu atinge niciodată limita minimă admisibilă, variind în jurul valorii setate ca valoare critică și anume 0,918.

În Figura 6.23 și Figura 6.24, se observă o scădere bruscă a nivelului de tensiune la ora 16:00, momentul când VE încep încărcarea. Practic, modelul AMI V2 se comportă la fel, asigurând menținerea nivelului de tensiune din rețea peste valoarea minimă admisibilă. Același trend se întâlnește și în celelalte scenarii prezentate până în momentul de față. Efectul golului de producție de energie nu se reflectă în nivelurile de tensiune înregistrate pe parcursul simulării. Se poate observa că nivelurile de tensiune pe faza L3, în toate scenariile, au valori similare. În scenariile de bază (scenariul S1 și S2) energia produsă suplimentar de sursa DG este consumată de VE.

6.4.5 Concluzii

În general, se poate aprecia că sistemul de management al încărcării, AMI V2, propus în prezenta teză de doctorat, este un sistem ieftin deoarece nu necesită investiții în infrastructura de distribuție a energiei, iar dispozitivele de comandă și telecomunicații sunt dispozitive care intră sau pot intra în configurația oricărei mașini moderne. Costurile cu implementarea unui sistem ca cel propus aici sunt foarte mici, fiind necesare practic doar niște adaptări ale software-ului ce este executat pe calculatoarele de bord.

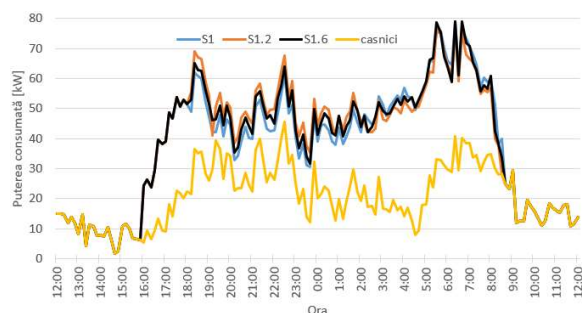


Figura 6.21 Puterea consumată din nodul de echilibru în scenariile S1, S1.2 și S1.6

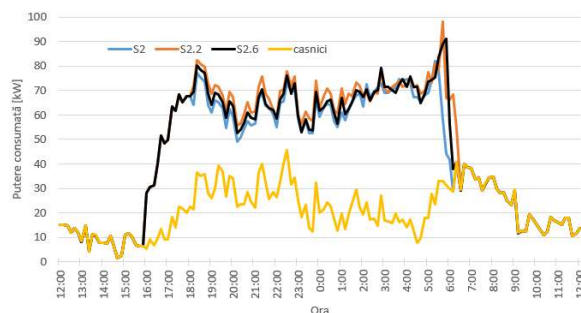


Figura 6.22 Puterea consumată din nodul de echilibru în scenariile S2, S2.2 și S2.6

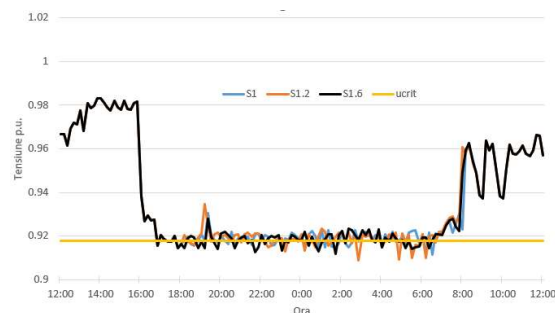


Figura 6.23 Nivelurile de tensiune în nodul 741 pe faza L3 pentru scenariile S1, S1.2 și S1.6

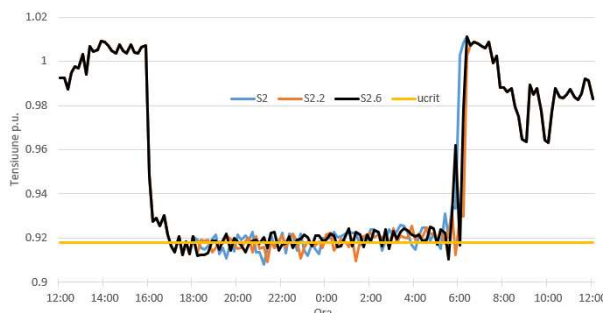


Figura 6.24 Nivelurile de tensiune în nodul 741 pe faza L3 pentru scenariile S2, S2.2 și S2.6

Flexibilitatea sistemului este de asemenea un avantaj major, ce poate fi apreciat de către producătorii VE, dar și de către proprietarii mașinilor; o actualizare a algoritmului, cum ar fi o trecere de la modelul AMI V1 către modelul AMI V2, necesită doar schimbări în software-ul ce rulează pe ECU.

Algoritmul AMI V2 este un algoritm care permite VE să se încarce cu putere cât se poate de mare cu condiția ca nivelul tensiunii din RDJT să se încadreze între limitele admise. Algoritmul a fost conceput să fie simplu și să nu necesite procesoare performante pentru a fi executat. Cum în viitor numărul de VE va continua să crească, nu este foarte exagerat să presupunem că în fiecare nod al unei RD care alimentează consumatori casnici va fi amplasat un VE, astfel putând avea acces la valorile tensiunilor din întreaga rețea.

Algoritmul AMI V2 este capabil să se adapteze la modificări în comportamentul șoferilor, așa cum a fost arătat în subcapitolul 6.4.3. Modelul AMI V2 reușește să schimbe ordinea în care se vor încărca mașinile și va profita de orice oportunitate de a încărca VE care sunt conectate la RD. Mai mult de atât, cât timp nivelul de tensiune în rețea este suficient de ridicat toate VE se vor încărca.

Algoritmul AMI V2 este capabil să se adapteze și la variațiile producției din surse DG, care adesea sunt surse regenerabile a căror producție poate varia în limite largi, de obicei în funcție de condițiile atmosferice. În prezentul studiu de caz a fost testată doar apariția unui gol de producție, autorul considerând că vulnerabilitatea rețelei este mai mare în asemenea situații; pentru cercetări ulterioare se va analiza și modul de adaptare a algoritmului AMI V2 la o creștere a producției.

Algoritmul AMI V2, reușește să încarce toate VE conectate la rețea, atâta timp cât nivelul de tensiune în rețea este corespunzător. În acest sens, dacă la nivelul rețelei de distribuție se implementează o metodă de control a tensiunii, cum ar fi transformatoare cu reglaj automat al plotului de funcționare, rețeaua de distribuție în sine nu va necesita alt tip de investiții, sau cel puțin vor amâna investițiile de întărire a rețelei.

CAPITOL 7 Concluzii finale și perspective

7.1 Concluzii generale

În momentul de față, una dintre cele mai mari provocări la nivel mondial este schimbarea climatică. Cu toate că oamenii de știință au avertizat de apariția fenomenului încălzirii globale încă din anul 1975, oamenii de rând au început să vadă efectele cu ochiul liber abia în ultimii ani. Situația actuală dificilă în care se află omenirea necesită schimbări din partea tuturor actorilor. Ca răspuns, instituțiile guvernamentale au stabilit planuri de reducere a gazelor cu efect de seră, care sunt factorul principal care contribuie la schimbările climatice.

Producătorii de autovehicule investesc masiv în ultima perioadă în dezvoltarea vehiculelor electrice. Pe de o parte, direcția propusă de producătorii de mașini a stârnit interes din partea publicului larg, rezultatul fiind creșterea continuă a vânzărilor de mașini electrice; pe de altă parte, specialiștii din domeniul energetic, care au și aceștia ținte de “îmverzire”, susțin că mobilitatea electrică zădărnicește eforturile de reducere a emisiilor de gaze cu efect de seră din domeniul energetic.

Principalele îngrijorări din domeniul energiei electrice odată cu proliferarea mașinilor electrice țin de următoarele aspecte:

- Supraîncărcarea rețelelor existente;
- Respectarea parametrilor de calitate a energiei furnizate, cu accent special pe nivelurile tensiunilor;
- Pierderea controlului privind direcția și sensul circulațiilor de puteri;
- Creșterea puterilor cerute în rețea, dar care nu sunt de obicei urmate de o creștere la fel de importantă a cererii de energie.

Astfel, domeniul energetic este într-o dilemă: pe de o parte investițiile de tip întărirea rețelei sunt necesare pentru a respecta problemele de nivel de tensiune în rețele de distribuție, iar pe de altă parte investițiile nu sunt urmate și de o creștere a încasărilor. Din fericire, managementul energetic, poate prezenta soluții inteligente ce pot reduce investițiile necesare de tip întărirea rețelei, doar că acestea se lovesc de o reticență din partea posesorilor de mașini. Încărcarea vehiculelor electrice este un subiect delicat care are nevoie de o soluție care să satisfacă trei cerințe generale:

1. Sistemul de management trebuie să fie ieftin, în sensul că niciuna dintre părți nu trebuie să suporte costuri ridicate cu implementarea sau mentenanța sistemului.
2. Sistemul trebuie să satisfacă nevoile posesorilor de vehicule, în sensul că atunci când aceștia pun mașina la încărcat, ei se așteaptă ca mașinile să plece cu bateria plină.
3. Costurile cu încărcarea trebuie să fie pe cât se poate de scăzute.

Condițiile de mai sus nu par atât de dificile de îndeplinit, până în momentul în care se intră la nivel de detaliu. Un asemenea exemplu este costul încărcării, care a fost identificat ca factorul cel mai important și care face ca o bună parte a posesorilor de vehicule electrice să dorească să își încarce mașinile acasă. Acest lucru poate crea probleme majore de nivel de tensiune în rețelele de distribuție rezidențiale. Pe de o parte, rețelele nu sunt dimensionate să suporte puterile suplimentare cerute de mașinile electrice, iar pe de altă parte nu există un indicator direct care să îi avertizeze pe operatorii rețelelor de distribuție în legătură cu acest potențial.

În cadrul tezei de doctorat sunt studiate și prezentate cele mai importante metode de management și aspecte particulare ale încărcării vehiculelor electrice, concretizate sub forma unei metode de management a încărcării VE special concepute, care promovează colaborarea vehiculelor electrice în cursul etapei de încărcare, în scopul atingerii unui obiectiv comun, corespunzător încărcării acestora.

Pentru aplicarea metodei de management a încărcării propuse, nu sunt necesare rețele de telecomunicații performante sau investiții în infrastructura rețelilor de distribuție. Metoda urmărește utilizarea rețelilor existente de distribuție și valorificarea echipamentelor de calcul și de telecomunicații din dotarea mașinilor când acestea se încarcă. Algoritmul care guvernează metoda de calcul a fost gândit să fie unul simplu, care să nu suprasolicite calculatoarele de bord. Astfel, calculul coeficientului global de încărcare sau a coeficienților ce fac parte din acesta este relativ simplu.

După cum se poate vedea din studiile de caz prezentate, metoda propusă are un grad ridicat de flexibilitate, aplicarea ei este independentă de numărul de mașini, se poate adapta la variațiile tensiunii din rețea, se poate adapta la producția variabilă a energiei din surse de generare distribuită și se poate adapta la situațiile de mobilitate ridicată. Suplimentar, dacă operatorul rețelei de distribuție dorește creșterea sau reducerea puterii consumate de mașini, acesta poate regla nivelul tensiunii la o valoare corespunzătoare și metoda se va adapta automat la condițiile noi din rețea.

Metoda propusă a fost dezvoltată pentru a satisface nevoile de energie a posesorilor de mașini electrice, să asigure un nivel corespunzător al tensiunii în rețea și în același timp să amâne momentul în care operatorii vor fi nevoiți să efectueze investiții de întărire a rețelei.

7.2 Contribuții personale

Contribuțiile personale din cadrul prezentei teze de doctorat se pot grupa în următoarele patru categorii:

- integrarea mașinilor electrice în vederea încărcării în cadrul piețelor de energie dar și în cadrul rețelilor de distribuție;
- explorarea inovațiilor din domeniul fabricației de mașini cu focus principal asupra tehnologiilor aplicate pentru mașinile electrice;
- propunerea și analiza unui sistem de management care se bazează pe tehnologiile vehiculare;
- propunerea metodelor de management a încărcării, bazat pe colaborarea între vehicule, cu scopul de integra vehiculele electrice în cadrul rețelilor de distribuție existente.

Astfel, contribuțiile documentare sunt:

1. *Realizarea unui studiu privind consumul energiei în rețele de distribuție de joasă tensiune din România.* Acest studiu a scos în evidență comportamentul consumatorilor casnici și a oferit o viziune asupra modalităților de management a rețelilor distribuție în vederea optimizării pierderilor de energie și a creșterii nivelurilor tensiunii. Studiul de caz a fost prezentat în subcapitolul CAPITOL 3 .
2. *Studierea bazei legale și economice a piețelor de energie în vederea identificării oportunităților de integrare VE; evaluarea potențialelor beneficii ce pot fi aduse de integrarea acestora din punct de vedere economic, inclusiv beneficiile funcționării în regim V2G.* Aceste studii au scos

în evidență beneficiile ce pot fi obținute prin integrarea pe scară largă a VE în piețele de energie și provocările cu care acestea se confruntă. Studiul de caz a fost prezentat în subcapitolul 4.3.

3. Realizarea documentării privind arhitectura sistemelor de încărcare a VE și a componentelor ce fac parte din acestea, în contextul general și în contextul utilizării regimului V2G. Astfel, au fost identificate problemele cu care se confruntă VE și care împiedică utilizarea acestora în regim V2G și *au fost elaborate două modele matematice ale unui VE care funcționează în regim de încărcare sau în regim V2G și s-a realizat evaluarea eficienței energetice a procesului de încărcare, respectiv viabilității economice a funcționării în regim V2G*. Modelele matematice au fost prezentate în subcapitolele 4.2.2 și 0; studiile de caz privind eficiența energetică și viabilitatea comercială a funcționării în regim V2G sunt prezentate în subcapitolele 4.4 și 4.5.
4. Studiarea celor mai răspândite metode de management a încărcării VE, identificarea beneficiilor care pot fi aduse de acestea, dar și a provocărilor cu care acestea se confruntă; studiile au stat la baza elaborării *sistemului original de management al încărcării VE care utilizează componente existente vehiculare și care nu necesită investiții din partea operatorilor rețelelor de distribuție și nici din partea posesorilor de VE*. Sistemul a fost prezentat în subcapitolul 6.2
5. *Elaborarea a doi algoritmi originali de management a încărcării VE în rețelele de distribuție de joasă tensiune, care funcționează pe arhitectura sistemului propus mai sus. Algoritmii propuși funcționează în arhitectură descentralizată și urmăresc creșterea gradului de încărcare a VE în condițiile menținerii nivelurilor tensiunii în rețea între limitele admisibile*. Algoritmii au fost prezentați în subcapitolele 6.3 și 6.4.
6. *Testarea comportamentului celui mai performant algoritm, în condiții de variație a nivelurilor tensiunii în rețelele de distribuție, de mobilitate ridicată și de variații în producția surselor de generare distribuită*. Studiile de caz sunt prezentate în subcapitolele, 6.4.2, 6.4.3 și 6.4.4

7.3 Perspective și direcții de cercetare

În contextul în care sistemele electroenergetice se adaptează continuu la noile tehnologii care apar din alte domenii, este esențial să se extindă cercetările privind integrarea vehiculelor electrice. Autorul are în vedere explorarea următoarelor direcții:

- Elaborarea unor noi arhitecturi ale sistemelor de management a încărcării VE;
- Îmbunătățirea algoritmilor de management existenți, inclusiv încorporarea tehnicilor de machine learning;
- Identificare modalităților prin care algoritmii de management pot fi îmbunătățiți, posibil prin combinarea a două sau mai multe tehnici de management.
- Studiarea mai detaliată a regimului V2G și modalitatea în care acesta ar putea veni în asistența rețelelor de distribuție;
- Extinderea studiilor de caz, pentru aplicarea modelului AMI V2, în vederea rafinării metodei de management propuse.

Bibliografie Selectivă

- [1] Deloitte Insights report, „Electric Vehicles Setting a course for 2030”.
- [2] EEA, „New registrations of electric vehicles in Europe,” 18 noiembrie 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles>. [Accesat 3 Septembrie 2022].
- [3] Agenția Europeană de Mediu, „New registrations of electric vehicles in Europe,” 18 Noiembrie 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.eea.europa.eu/ims/new-registrations-of-electric-vehicles>. [Accesat 7 Iulie 2022].
- [4] Comisia Europeană, „Îndeplinirea angajamentelor asumate în cadrul Pactului verde european,” 11 decembrie 2019. [Interactiv]. Available: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_ro. [Accesat 7 iulie 2022].
- [5] International Energy Agency , „Hydrogen,” noiembrie 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.iea.org/reports/hydrogen>. [Accesat 20 iulie 2022].
- [6] I. Csuzi, B. Csuzi, „The urban electric bus, a sustainable solution to increase energy efficiency of public transport and reduce atmospheric pollution in the cities,” 2017 Electric Vehicles International Conference (EV), nr. 10.1109/EV.2017.8242101, pp. 1-6, 2017.
- [7] H. Kaushik, M. Mathew and J. Hossain, „Comparative Analysis of Green House Gas,” 2018 International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), pp. 702-706, 2018.
- [8] S.A., CNTEE Transelectrica, „Planul de Dezvoltare a RET 2020-2029,” 2020.
- [9] ABB, „ABB launches the world’s fastest electric car charger,” 21 septembrie 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.voltempo.com/future/>. [Accesat 20 iulie 2022].
- [10] CHAdeMO, „High Power (ChaoJi),” [Interactiv]. Available: <https://www.chademo.com/technology/high-power>. [Accesat 3 septembrie 2022].
- [11] W. Kempton, S. E. Letendre, „Electric vehicles as a new power source for electric utilities,” Transportation Research Part D: Transport and Environment, vol. 2, nr. 3, pp. 157-175, 1997.
- [12] Renault, „Renault eWays ElectroPop: Renault Group dă un impuls major strategiei sale în domeniul vehiculelor electrice,” 01 07 2021. [Interactiv]. Available: <https://www.renault.ro/noutati/renault-eways-electropop.html>. [Accesat 18 aprilie 2024].
- [13] Nissan, „DESCOPERĂ NOUL NISSAN LEAF, CEL MAI AVANSAT VEHICUL ELECTRIC ACCESIBIL,” [Interactiv]. Available: <https://www.nissan.ro/experienta-nissan/noutati/2017/noul-nissan-leaf.html>. [Accesat 18 Aprilie 2024].
- [14] ABB, „Tehnologia ABB Vehicul-Rețea (V2G),” 2024. [Interactiv]. Available: [https://new.abb.com/ev-charging/ro/abb's-vehicle-to-grid-technology-\(ro\)](https://new.abb.com/ev-charging/ro/abb's-vehicle-to-grid-technology-(ro)). [Accesat 18 aprilie 2024].

-
-
- [15] Plugshare, „Plugshare,” [Interactiv]. Available: <https://www.plugshare.com>. [Accesat 21 Iulie 2022].
- [16] M. Nicholas, D. Hall, N. Lutsey, „Quantifying the Electric Vehicle Charging Infrastructure Gap Across U.S. Markets,” International Council on Clean Transportation, Washington DC, 2019.
- [17] A. SUSKI, T. REMY, D. CHATTOPADHYAY, C. SUK SONG, I. JAQUES, T. KESKES, Y. LI, „Analyzing Electric Vehicle Load Impact on Power Systems: Modeling Analysis and a Case Study for Maldives,” IEEE ACCES, pp. 125640 - 125657, 7 Septembrie 2021.
- [18] EURELECTRIC, „Value of the Grid: Why Europe's Distribution Grids Matter in Decarbonising the Power System,” Brussels, Belgium, 2019.
- [19] M. Wilber, E. Whitney, T. Leach, C. Hauptert and C. Pike, „Cold Weather Issues for Electric Vehicles (EVs) in Alaska,” ACEP, 2021.
- [20] Agenția Europeană de Mediu, „Energy prosumers in Europe. Citizen participation in the energy transition,” EEA, 2022.
- [21] C. H. Tie, C. K. Gan and K. A. Ibrahim, „The impact of electric vehicle charging on a residential low voltage distribution network in Malaysia,” IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA), pp. 272-277, 2014.
- [22] Eurostat, „Passenger mobility statistics,” 21 Decembrie 2021. [Interactiv]. Available: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Passenger_mobility_statistics. [Accesat 21 septembrie 2022].
- [23] P. Vithayasrichareon, G. Mills and I. F. MacGill, „Impact of Electric Vehicles and Solar PV on Future Generation Portfolio Investment,” IEEE Transactions on Sustainable Energy, pp. 899-908, Iulie 2015.
- [24] R. L. Gonçalves, J. T. Saraiva, J. C. Sousa and V. T. Mendes, „Impact of Electric Vehicles on the electricity prices and on the load curves of the Iberian Electricity Market,” 10th International Conference on the European Energy Market, pp. 1-8, 2013.
- [25] CORDIS, „Mobile Energy Resources in Grids of Electricity,” 31 octombrie 2012. [Interactiv]. Available: <https://cordis.europa.eu/article/id/89650-electric-vehicles-charging-ahead>. [Accesat 26 10 2022].
- [26] Comisia Europeană, „Clean energy for all Europeans package,” Martie 2019. [Interactiv]. Available: https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en. [Accesat 26 August 2022].
- [27] United Nations, „Take Action for the Sustainable Development Goals,” 18 Septembrie 2020. [Interactiv]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/blog/2020/09/united-nations-releases-special-2020-broadcast-calling-for-collective-action/>. [Accesat 26 August 2022].
- [28] A. Kriukov, B. Vicol, M. Gavrilăș, „A stochastic method for calculating energy losses in low voltage distribution networks using genetic algorithms,” Buletinul AGIR , nr. 3, pp. 595-602, 2012.
-
-

-
-
- [29] Delgaz Grid, „Profiluri tip de consum,” [Interactiv]. Available: <https://www.delgaz.ro/energie-electrica/profiluri-de-consum>. [Accesat 10 August 2021].
 - [30] M. Gavrilas, *Inteligență artificială și aplicații în energetică*, Iași: Editura Gheorghe Asachi, 2002.
 - [31] A. Kriukov, B. Vicol and M. Gavrilas, „Applying a micro-market inside an electric vehicles parking facility,” 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), p. doi: 10.1109/UPEC.2014.6934793, 2014.
 - [32] A. Kriukov and M. Gavrilas, „Managing a multi-purpose Parking lot for Electric Vehicles,” *Buletinul AGIR*, nr. 3, pp. 307-312, 2013.
 - [33] A. Kriukov and M. Gavrilas, „Energy/Cost efficiency study on V2G operating mode for EVs and PREVs,” 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS), p. doi: 10.1109/MPS.2019.8759735, 2019.
 - [34] Bean, I.S. Jacobs and C.P., „Measurement of power loss during electric vehicle charging and discharging,” *Energy*, vol. 127, pp. 730-742, 2017.
 - [35] C. Duan, H. Bai, W. Guo and Z. Nie, „Design of a 2.5-kW 400/12-V High-Efficiency DC/DC Converter Using a Novel Synchronous Rectification Control for Electric Vehicles,” *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, vol. 1, pp. 106-114, 2015.
 - [36] B. Sovacool, J. Axsen, W. Kempton, „Tempering the Promise of Electric Mobility? A Sociotechnical Review and Research Agenda for Vehicle-Grid Integration (VGI) and Vehicle-to-Grid (V2G),” *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 42, 2017.
 - [37] Ministerul Justiției, ORDONANȚĂ DE URGENȚĂ nr. 80 din 13 septembrie 2018, *Monitorul Oficial*, 2018.
 - [38] Energy Efficiency and Renewable Energy Department, „Hydrogen Storage,” Department of Energy, Washington, 2010.
 - [39] Vehicle Technologies Office, „FOTW #1272, January 9, 2023: Electric Vehicle Battery Pack Costs in 2022 Are Nearly 90% Lower than in 2008, according to DOE Estimates,” Department Of Energy, Washington, 2023.
 - [40] Z. Needell, W. Wei, J. E. Trancik, „Strategies for beneficial electric vehicle charging to reduce peak electricity demand and store solar energy,” *Cell Reports Physical Science*, vol. 4, nr. 3, p. 101287, 2023.
 - [41] Q. Huang, X. Wang, J. Fan, S. Qi, W. Zhang and C. Zhu, „V2G Optimal Scheduling of Multiple EV Aggregator Based on TOU Electricity Price,” *IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2019 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, pp. 1-6, 1 august 2019.
 - [42] S. P. Sathiyar, „Comprehensive Assessment of Electric Vehicle Development, Deployment, and Policy Initiatives to Reduce GHG Emissions: Opportunities and Challenges,” *IEEE Access*, vol. 10, nr. 10.1109/ACCESS.2022.3175585, pp. 53614-53639, 2022.
-
-

-
-
- [43] W. Rentao, G. Tsagarakis, A. J. Collin and A. E. Kiprakis, „EV charging scheduling for cost and greenhouse gases emissions minimization,” 2017 Twelfth International Conference on Ecological Vehicles and Renewable Energies (EVER), pp. 1-7, 1 iunie 2017.
 - [44] M. Denai and E. Vega-Fuentes , „Enhanced Electric Vehicle Integration in the UK Low-Voltage Networks With Distributed Phase Shifting Control,” IEEE Acces, vol. 7, pp. 46796-46807, 2019.
 - [45] A.Amin, W. U. Khan Tareen, M. Usman, K. Ali Memon, B. Horan, A. Mahmood, S. Mekhilef, „An Integrated Approach to Optimal Charging Scheduling of Electric Vehicles Integrated with Improved Medium-Voltage Network Reconfiguration for Power Loss Minimization,” Sustainability, vol. 12, nr. 21, 2020.
 - [46] R.Liemthong, C. Srithapon, P. K. Ghosh, R. Chatthaworn, „- Home Energy Management Strategy-Based Meta-Heuristic Optimization for Electrical Energy Cost Minimization Considering TOU Tariffs,” Energies, vol. 15, nr. 2, 2022.
 - [47] M. E. Collins, L. Kane, R. MacDonald, M. Bebbington, G. Murphy and S. Buckley, „Understanding the network impact of EV growth: Long-term planning approaches developed in the charge project,” CIRED 2020 Berlin Workshop, pp. 147-150, 2020.
 - [48] A. Kriukov; M. Gavrilas, „Smart energy management in distribution networks with increasing number of electric vehicles,” în International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering (EPE), Iași, 2014.
 - [49] A. Kriukov and M. Gavrilas, „Smart Charging of Multiple EVs in Smart Grid Radial Low Voltage Distribution Networks,” Buletinul Institutului Politehnic Iași, 2021.
 - [50] A. Kriukov, M. Gavrilas, O. Ivanov, G. Grigoras, B. -C. Neagu and F. Scarlatache, „Novel Decentralized Voltage-Centered EV Charging Control Algorithm Using DSRC System in Low Voltage Distribution Networks,” IEEE Access, vol. 9, nr. 10.1109/ACCESS.2021.3132419, pp. 164779-164800, 2021.
 - [51] M. Haddad, P. Muhlethaler, A. Laouiti, R. Zagrouba and L. A. Saidane, „TDMA-Based MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey, Qualitative Analysis, and Open Research Issues,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 17, nr. 4, pp. 2461-2492, 2015.
 - [52] Federal Communications Commission, „Memorandum opinion and order’, in the ‘Matter of Amendment of the Commission’s Rules Regarding Dedicated Short-Range Communication Services in the 5.850-5.925 GHz Band (5.9 GHz Band),” 2006.
 - [53] A. Kriukov and M. Gavrilas, „EV Charging Control using DSRC System in LVDN with DG Penetration,” 10th International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM), nr. 10.1109/CIEM52821.2021.9614837, 2021.
-
-